

Üniversitesi	: İstanbul Teknik Üniversitesi
Enstitüsü	: Fen Bilimleri
Anabilim Dalı	: Jeoloji Mühendisliği
Programı	: Mühendislik Jeolojisi
Tez Danışmanı	: Prof. Dr. Mahir VARDAR
Tez Türü ve Tarihi	: Yüksek Lisans – Kasım 2002

ÖZET

GÜMÜŞOVA (DUZCE) – GEREDE (BOLU) ARASI ASARSU VADİSİNİN MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ VE DEPREMSELLİK ÇİSİNDAN İNCELENMESİ

T.Serkan AKSU

Bu çalışmada, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun etkilediği alan içerisinde kalan Asarsu Vadisi, mühendislik jeolojisi ve depremsellik açısından incelenmiş ve vadi içerisinde yer alan mühendislik yapılarında 12 Kasım 1999 Düzce depremi sırasında oluşan hasar, jeolojik ve geoteknik açılardan ele alınmıştır. Mühendislik yapılarının temellerinde ve temel sağlamlaştırması amacıyla imal edilmiş olan fore kazıklardaki hasar, çeşitli görsel, mekanik ve elektriksel yöntemlerle araştırılmıştır. Mekanik ve elektriksel yöntemler ile ortaya çıkan veriler, görsel kontrolün yapılabildiği bölümlerdeki veriler ile karşılaştırılmış ve yöntemlerin bu ve daha sonraki araştırmalarda hangi oranda güvenilir sonuçlar verebileceği incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonrasında, 12 Kasım 1999 Düzce depremi sırasında oluşan hasarda belirleyici etkenin, yapıların fay yüzey kırığına olan uzaklıkları olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Düzce depremi, Hasar, Gümüşova-Gerede Otoyolu

University	: İstanbul Technical University
Institute	: Science and Technology
Science Programme	: Geological Engineering
Programme	: Engineering Geology
Supervisor	: Prof. Dr. Mahir VARDAR
Degree Awarded and Date	: M.Sc. – November 2002

ABSTRACT

ENGINEERING GEOLOGY AND EARTHQUAKE RISK OF ASARSU VALLEY BETWEEN GÜMÜŞOVA (DÜZCE) – BOLU (GEREDE)

T.Serkan AKSU

In this study Asarsu Valley, being inside the effect area of North Anatolian Fault Zone, has been investigated by both engineering geology and earthquake risk concepts and the hazard has been studied regarding geological and geotechnical aspects. The hazard which has been occurred at the foundations and the bored piles has been examined through visual, mechanical and electrical methods. The results which have been come out from mechanical and electrical methods have been compared with the results which have been come out from visual control method. Therefore the trustability of the results for this and future projects has been tried to determined. As a result it has been observed that the hazard at the structures is directly related to the distance of the structures from fault surface rupture.

Keywords : Düzce earthquake, Hazard, Gümüşova-Gerede Motorway

ÖNSÖZ

Bu çalışma İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Mühendislik Jeolojisi Programında hazırlanmış olan yüksek lisans tezi çalışmasıdır. Araştırma kapsamında, Viyadük-1 yapısının yer aldığı Gümüşova–Gerede arası Asarsu Vadisi batı kesimi, mühendislik jeolojisi ve depremsellik açılarından incelenmiş, Viyadük-2, Viyadük-3, Viyadük-4 yapılarının yer aldığı Asarsu vadisi doğu kesiminin de jeolojisi ve kütle hareketleri çalışılmıştır.

Konumu öneren ve yönetimini üstlenen, değerli katkılarını gördüğüm Sayın hocam Prof. Dr. Mahir VARDAR’a, Araştırma Görevlisi Sn. Eşref AYLAN’a, Araştırma Görevlisi Sn. Cenk KOÇAK’a, Araştırma Görevlisi Sn. Umut Barış ÜLGEN’e Araştırma Görevlisi Erkan TORAMAN’a ve Araştırma Görevlisi Sn.Gürsel SUNAL’a saygı ve şükranlarımı sunarım.

Bu tezin hazırlanma aşamasında yardımlarını gördüğüm, Yüksel Proje A.Ş. Mühendisi Sn. Atilla SAYIŞ’a, Proje Müdürü Sn. Faik TOKGÖZOĞLU’na ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen aileme yardımları ve bana olan destekleri için teşekkür ederim.

EKİM 2002

T.SERKAN AKSU

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii-viii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	x-xi-xii
SUMMARY	xiii-xiv-xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
2. İNCELEME ALANININ TANITIMI	3
2.1. Coğrafi Konum	3
2.2. Yüzey Şekilleri	3
2.2.1. Dağlar	3
2.2.2. Ovalar	4
2.3. Bitki örtüsü	4
2.4. Nüfus ve yerleşim	5
2.5. Otoyol Güzergahı	5
3. İNCELEME ALANININ GENEL JEOLJİSİ	7
3.1. Stratigrafi	7
3.1.1. Yedigöller Formasyonu	7
3.1.2. İkizoluk Formasyonu	9
3.1.3. Elmalık Graniti	10
3.1.4. Gölcük Grubu-Fındıcak Formasyonu	10
3.1.5. Apalar formasyonu	10
3.1.6. Kuvaterner Çökelleri	11
3.1.6.1. Alüvyal Teras Çökelleri	11
3.1.6.2. Heyelan Baraj Gölü Çökelleri	11
3.1.6.3. Deresel teras çökelleri	12
3.1.6.4. Güncel Alüvyon Çökelleri	12
3.2. Yapısal Jeoloji	13
3.3. Jeolojik Evrim	14
4. GUMÜŞOVA – GEREDDE OTOYOLU KISIM – 2’NİN TANITIMI	17
4.1. Genel	17
4.2. Viyadük-1	17
4.3. Viyadük-2, Viyadük-3, Viyadük-4	19

5. İNCELEME ALANININ MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ	20
5.1. Giriş	20
5.2. Asarsu Vadisinin Batı Kesimi Geçişi	20
5.2.1. Asarsu vadisi batısında topoğrafya ve jeomorfoloji	20
5.2.2. Asarsu vadisi batısında litoloji	21
5.2.2.1 Yedigöller formasyonu	21
5.2.2.2 Gölcük grubu-Fındıcak formasyonu	21
5.2.2.3 Apalar formasyonu	22
5.2.2.4 Deresel teras çökelleri	22
5.2.2.5 Güncel alüvyon çökelleri	23
5.2.3. Asarsu Vadisi batısında yapısal jeoloji	24
5.2.4. Asarsu vadisi batısındaki birimlerin geoteknik özellikleri	26
5.2.4.1. Yedigöller formasyonu	26
5.2.4.2. Gölcük grubu- Fındıcak formasyonu	26
5.2.4.3. Apalar formasyonu	29
5.2.4.4 Deresel teras çökelleri	29
5.2.4.5. Güncel alüvyon çökelleri	31
5.2.5. Asarsu vadisi batısının hidrolojisi	31
5.2.6. Asarsu vadisi batısının hidrojeolojisi	34
5.3. Asarsu Vadisi Doğusundaki Kütle Hareketleri	34
5.3.1. Güney ve kuzey yamaçlardaki kütle hareketleri	41
5.3.1.1. Güney yamaçlardaki kütle hareketleri	41
5.3.1.2. Kuzey yamaçlardaki kütle hareketleri	42
5.3.2. Asarsu vadisi civarındaki diğer kütle hareketleri	46
5.4. Kuzey Anadolu Fay Zonu ve Depremsellik	48
5.4.1. Depremsellik	49
5.5. Gümüşova-Gerede Otoyolu Viyadük-1 güzergahının mühendislik jeolojisi açısından değerlendirilmesi	51
6. GUMÜŞOVA – GERED E OTYOLU VİYADÜK – 1 KESİMİNDE KASIM 1999 DEPREMİNDE OLUŞAN HASARLARIN MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ VE GEOTEKNİK AÇIDAN İNCELENMESİ	55
6.1. 12 Kasım 1999 Depremi ve TEM Otoyolu Asarsu Vadisi Geçişi	55
6.2. Deprem sonrası Viyadük-1’de yapılan araştırmalar	57
6.2.1. Topografik araştırmalar	57
6.2.1.1. Zemin deformasyon özelliklerinin incelenmesi	60
6.2.1.2. Bitişik ayaklardaki boyosal uzaklığın ölçülmesi	63
6.2.2. Karot delgisi	66
6.2.3. Yankı deneyleri	67
6.2.4. Paralel kuyu ve tekil kuyu deneyleri	72
6.2.5. Serbest yükselim deneyi	76
6.2.6. Kazık başları ve kazık başlıklarının görsel kontrolü	77
6.2.7. Temel hasarlarının sınıflandırılması	78
6.2.7.1. Kazıklar	78
6.2.7.2. Kazık başlıkları	78
7. SONUÇLAR	83
KAYNAKLAR	85
EKLER	87
ÖZGEÇMİŞ	106

KISALTMALAR

TEM	: Trans European Motorway
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
EDU	: Energy Dissipation Unit
AS	: Araştırma Sondajı
SPT	: Standart Penetrasyon Testi
RQD	: Rock Quality Degree
PGA	: Peak Ground Acceleration
T	: Topografik Araştırma
K	: Karot Alımı
Y	: Yankı Deneyi
TK	: Tekil Kuyu Deneyi
PK	: Paralel Kuyu Deneyi
SY	: Serbest Yükselim Deneyi
GK	: Görsel Kontrol

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 5.1 Fındıcak formasyonu tek eksenli basınç ve nokta yük deney sonuçları.....	27
Tablo 5.2 Geoteknik özellikler / Fındıcak formasyonu.....	28
Tablo 5.3 Geoteknik özellikler / Apalar formasyonu.....	30
Tablo 5.4 Geoteknik özellikler / Deresel teras çökelleri.....	32
Tablo 5.5 Geoteknik özellikler / Güncel alüvyon çökelleri.....	33
Tablo 5.6 Kısım-2 Viyadük-1 piezometre listesi.....	35-36
Tablo 5.7 Geçirimlilik deneyi sonuçları.....	37-38
Tablo 5.8 Ayrık tortul kayaçların ortalama geçirimlilik değerleri.....	39
Tablo 5.9 Kütle hareketlerinin genel sınıflandırılması ve türleri.....	40
Tablo 5.10 Kom Heyelanı sondaj numuneleri laboratuvar testleri ve yeraltısuyu ölçümleri.....	47
Tablo 6.1 Viyadük-1’de deprem sonrası gerçekleştirilen araştırmalar....	58
Tablo 6.2 Kazıklardan alınan karotların değerlendirilmesi.....	66
Tablo 6.3 Yankı deneyi sonuçları.....	70-71
Tablo 6.4 Tekil kuyu ve paralel kuyu deney sonuçları.....	74
Tablo 6.5 Serbest yükselim deney sonuçları.....	76
Tablo 6.6 Kazık başları ve kazık başlıklarının görsel kontrolü.....	80
Tablo 6.7 12 Kasım 1999 depreminde hasar gören temeller.....	82
Tablo G.1 Viyadük-1 piezometre raporu.....	93-94

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1	İnceleme alanının konumu..... 6
Şekil 2.2	Anadolu Otoyolu kısmında inceleme alanının konumu..... 6
Şekil 3.1	Otoyol güzergahının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti..... 8
Şekil 3.2	Asarsu vadisi güney yamaçlarında gözlenen Yedigöller formasyonuna ait amfibolit birimi..... 9
Şekil 3.3	Heyelan barajı göl çökelleri..... 12
Şekil 3.4	Deresel teras çökelleri içinde gözlenen çapraz tabakalanma..... 13
Şekil 4.1	Asarsu vadisinin genel görünüşü..... 17
Şekil 4.2	Viyadük-1'in genel görünüşü..... 18
Şekil 4.3	Viyadük-4'ün genel görünüşü..... 19
Şekil 5.1	Ana bölgesel faylar..... 24
Şekil 5.2	Tipik düzlemsel kayma kesiti..... 42
Şekil 5.3	Asarsu vadisi güney yamaçta gözlenen kayma hareketi..... 43
Şekil 5.4	Kom heyelanı taç kısmı..... 44
Şekil 5.5	Bakacak heyelanı..... 48
Şekil 5.6	12 Kasım 1999 ve 17 Ağustos 1999 depremleri..... 50
Şekil 6.1	12 Kasım 1999 depremi yüzey kırığı..... 56
Şekil 6.2	Hasar araştırması akım şeması..... 59
Şekil 6.3	Düzce fayı yüzey kırığı (Ayak 44 – Ayak 49 arası)..... 61
Şekil 6.4	12 Kasım 1999 depreminde oluşan fissür haritası..... 62
Şekil 6.5	Komşu ayaklardaki boyuna yerdeğiştirmenin ölçülmesi..... 63
Şekil 6.6	Bağlı yerdeğiştirme (Sol köprü)..... 64
Şekil 6.7	Bağlı yerdeğiştirme (Sağ köprü)..... 65
Şekil 6.8	Yankı deneyi tekniği..... 68
Şekil 6.9	Tipik yankı deneyi sonuç grafiği..... 68
Şekil 6.10	Paralel kuyu deney ekipmanı..... 73
Şekil 6.11	Temellerdeki hasar dağılımı..... 81
Şekil H.1	Hasar sınıflandırması..... 95
Şekil H.2	Görsel kontrol sonuçları-Ayak 26Sağ..... 96
Şekil H.3	Görsel kontrol sonuçları-Ayak 27Sol..... 97
Şekil H.4	Görsel kontrol sonuçları-Ayak 26Sağ..... 98
Şekil H.5	Görsel kontrol sonuçları-Ayak 34Sağ..... 99
Şekil H.6	Görsel kontrol sonuçları-Ayak 35Sol..... 100
Şekil H.7	Görsel kontrol sonuçları-Ayak 44Sol..... 101
Şekil I.1	Elmalık Graniti..... 102
Şekil I.2	Alüvyal teras çökelleri..... 102
Şekil I.3	Güncel alüvyon çökelleri..... 103
Şekil I.4	Yedigöller formasyonu içerisinde gözlenen sistemsiz kırıklar.. 103

Şekil I.5	Asarsu vadisi güney yamaçta yeralan, tahkimat uygulanmış kayma hareketi.....	104
Şekil I.6	Asarsu vadisi kuzey yamaçta gözlenen kayma ve akma hareketi.....	104
Şekil I.7	Ayak 47 Sağ'da gözlenen düşey eksendeki dönme.....	105
Şekil I.8	Deprem sonrası vadi içinde gelişen kırık (en-echelon).....	105

SEMBOL LİSTESİ

σ_B	: Tek eksenli basınç direnci
T	: Nokta yük direnci
γ_n	: Doğal birim hacim ağırlık
γ_s	: Kuru birim hacim ağırlık
W_n	: Doğal su içeriği
c	: Kohezyon
ϕ	: İçsel sürtünme açısı
K	: Geçirimsizlik katsayısı
M	: Deprem büyüklüğü
g	: Yerçekimi ivmesi
d	: Ardışık ayaklar arasındaki boyutsal yerdeğiştirme
Δt	: Yankı deneyinde uygulanan basınç dalgasının yayılma zamanı
V_p	: Dalganın kazık betonu içindeki hızı
$L_{ölçülen}$: Yankı deneyi sonucunda elde edilen kazık boyu
L_{proje}	: Projede yer alan ortalama kazık boyu
E_c	: Betonun elastisite modülü
ρ	: Yoğunluk
V_{maks}, V_{min}	: Suyun en yüksek ve en düşük yükselme hızları
n_{top}	: Kontrol edilen kazık sayısı
n	: Tali/Ana çatlak barındıran kazık sayısı
T_{maks}	: Maksimum çatlak genişliği

GÜMÜŞOVA (DÜZCE) – GEREDE (BOLU) ARASI ASARSU VADİSİNİN MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ VE DEPREMSELLİK AÇISINDAN İNCELENMESİ

ÖZET

İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Mühendislik Jeolojisi Programında yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmanın amacı Gümüşova-Gerede Arası Asarsu vadisinin mühendislik jeolojisi ve depremsellik açısından incelenmesidir. Bu amaçla, yüzey jeolojisi ve mevcut yeraltı jeolojisi verilerinden yararlanılarak, Asarsu geçişi Viyadük-1 güzergahının 1/4000 ölçekli jeoloji ve mühendislik jeolojisi haritaları ve kesitleri ile Asarsu geçişi Viyadük-2, Viyadük-3, Viyadük-4 güzergahının 1/10000 ölçekli jeoloji haritası, kesitleri üretilmiştir. Ayrıca bölgede yer alan Kom Heyelanı ayrıntılı şekilde incelenmiştir. Bu bilgilerin ışığında, yüklenici firma tarafından Ocak – Aralık 2000 tarihleri arasında yaptırılan ve bölgede 12 Kasım 1999 tarihinde meydana gelen $M=7.2$ büyüklüğündeki depremin Viyadük-1 güzergahına vermiş olduğu hasar belirleme ve sınıflandırma çalışmaları derlenerek, jeolojik etmenlerle yapı unsurları arasındaki ilişkiler saptanmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmada öncelikle geçilen birimlerin litolojileri, stratigrafi, yapısal durumları belirlenmiş ve daha önce yaptırılmış olan araştırma sondajlarından elde edilen bilgiler derlenerek, deprem sonrası Viyadük-1 yapısında oluşan hasarın belirlenmesi ve sınıflandırılmasında kullanılan gözlemsel ve aletsel yöntemler incelenmiş, elde edilen sonuçlara göre yapıda gözlenen değişik yoğunluktaki hasarda rol oynayan ana etmenler araştırılmıştır. Ayrıca Viyadük-1'ün doğusunda, Bolu tüneli Asarsu portalına kadar olan bölge içerisinde yer alan kütle hareketleri incelenmiştir.

Buna göre; Bolu dağı otoyol güzergahı geçiş alanında temel birimi Devoniyen öncesi yaşlı amfibolit ve diyoritten oluşan Yedigöller formasyonu oluşturur. Bu birimin üzerinde tektonik dokanakla sleyt, fillat, şeyl ve kuvarsit ardalanmasından oluşan İkizoluk formasyonu bulunur. Elmalık graniti Yedigöller formasyonunu kesmektedir. Üst Kretase - Alt Eosen, kıltaşı-kireçtaşı-kumtaşı ardalanmasından oluşan Gölcük Grubu'na ait Fındıcak formasyonu tarafından temsil edilir. Kıltaşı-silttaşı-şeyl ardalanmasından oluşan Apalar formasyonu Orta-Üst Eosen yaşındadır. Kuvaterner'de eski-güncel alüvyon çökelleri ve kütle hareketi malzemeleri yer alır.

Otoyol güzergahını paleotektonik dönemde bindirmeler, neotektonik dönemde Kuzey Anadolu Fay zone (KAFZ) etkilemiştir. KAFZ ile ilgili olarak gelişen yaklaşık D-B doğrultulu Asarsu, Düzce ve Bakacak fayları ana tektonik yapılarıdır. Bu faylar arasında, otoyol güzergahını etkileyen kütle hareketleri bulunur.

Km 6+449 – km 8+803 arasında, anakayayı oluşturan birimler yoğun tektonizma nedeniyle kırılanmışlardır. Asarsu deresinin biriktirdiği alüvyal çökeller anakayayı örterler. Bu kısımda, etkimesi beklenen deprem yüklerinin büyüklüğü, birimlerin taşıma güçlerinin azlığı ve Asarsu deresinin düzensiz yapısı nedeniyle kazıklı temeller inşa edilmiştir. 12 Kasım 1999 depremi fay kırığının kestiği Viyadük-1 ağır hasara uğramıştır.

Vadinin doğusundaki etkin süreksizlikler de Asarsu fayı ve Düzce fayıdır. Bu fayların otoyol güzergahını etkileyen en önemli özellikleri de km 12+200 – km 14+100 arasında bir heyelana sebebiyet vermesidir. Ana heyelan kütlelerinin duraysız olmasına karşın, Asarsu deresinin oyması ve erozyon nedeniyle heyelan topoğrafyasında daha küçük heyelanlar gözlenmektedir. Bu kesim otoyol güzergahı için potansiyel tehlike alanıdır. Yoğun yağmur, sel, deprem veya yarma çalışmaları etkisiyle bu kütle hareketlerinin aktif hale gelme olasılığı bulunmaktadır. Ayrıca vadinin kuzey ve güney yamaçlarındaki diğer kütle hareketleri nedeniyle otoyol ekseninin vadi tabanından geçirilmesi zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Bunun sonucu olarak da Asarsu deresinin kapalı menfez içerisine alınarak geçilmesi gerekmiştir.

12 Kasım 1999 depreminde oluşan yüzey kırığının tek bir lokasyonda kestiği Viyadük-1’de oluşan hasarın belirlenmesi ve sınıflandırılması için viyadük ayak temellerinde, topoğrafik gözlemler, kazıklardan karot alınması, yankı deneyi, paralel kuyu deneyi, tekil kuyu deneyi, serbest yükselim deneyi ve temel, kazık başlıkları ve kazık başlarında görsel kontroller yapılmıştır.

Topoğrafik gözlemler sonucu elde edilen bilgilerin ışığında, Viyadük yapısının ana yüzey kırığı boyunca önemli deformasyona uğradığı, geri kalan bölümlerin ise daha küçük deformasyonlara maruz kaldığı anlaşılmıştır. Temellerin yüzey kırığına olan uzaklıklarına bağlı olarak değişik yoğunlukta yapısal hasara uğradıkları belirlenmiştir. Topoğrafik bilgilerin yorumlanması uyarınca, ayak temelleri iki ayrı sınıfta ele alınmıştır; ana yüzey kırığı boyunca konumlanmış ayaklar (Ayak 45 Sağ, Ayak 47 Sol) ve ana yüzey kırığından uzakta konumlanmış ayaklar. Buna göre; Ayak 45 – Ayak 47 arasındaki temellere ait geniş çaplı, yerinde dökme beton kazıklar belirli bir derinlik boyunca zemin deformasyonlarına maruz kalmışlardır. Oluşan kazık deformasyonları kompleks yapıdadır ve teorik bazda analiz edilebilmeleri zordur. Bu koşullar altında, temel altındaki 12 kazığın hepsinde önemli yapısal hasar oluşabilme ihtimali vardır. Ayrıca hasar, kazık shaftı boyunca herhangi bir derinlikte olabilir. Ana yüzey kırığından uzaklaştıkça, kazıklardaki hasarın daha iyi tanımlanabilir yapıda ve derinliklerde oluşacağı beklenmiştir. Buna göre; her durumda, hasarın kazık shaftının ilk 10 m.sinde oluşacağı, kazık başının temel hasarı için iyi bir gösterge olacağı, köşelerde yer alan kazıkların en büyük hasara uğramış olacağı ve kazık kesitinin merkezindeki kısımda çok büyük hasar gözlenmeyeceği çıkarımları yapılarak diğer aletsel ve gözlemsel deneylere geçilmiştir.

Araştırma ve deneyler sonucunda, Kasım 1999 depreminde en fazla hasara maruz kalan 7 adet ayak belirlenmiştir (Ayak 26 Sağ, Ayak 27 Sol, Ayak 34 Sağ, Ayak 35 Sol, Ayak 44 Sol, Ayak 45 Sağ, Ayak 47 Sol). Bunlar da Viyadük-1'deki tüm ayakların %6'sına karşılık gelmektedir.

İnceleme alanının litolojisi, yapısal durumu, hidrolojisi, hidrojeolojisi ve geoteknik özellikleri açısından bakıldığında, bu etkenlerin depremde oluşan hasarda belirleyici olmadıkları, hasarın ayakların ana yüzey kırığına olan uzaklıklarına göre yoğunlaştığı belirlenmiştir.

ENGINEERING GEOLOGY AND EARTHQUAKE RISK OF ASARSU VALLEY BETWEEN GUMUSOVA (DUZCE) – GEREDE (BOLU)

SUMMARY

This study, submitted as a M.Sc. thesis to İstanbul Technical University, Institute of Science, Department of Geological Engineering, Engineering Geology Programme is aimed to investigate the engineering geology and the earthquake risk of Gümüşova-Gerede Motorway Asarsu Valley. For this purpose, using surface and subsurface data which has been done by contractor, a 1/4000 scale, geological and engineering geology map, longitudinal section of Viaduct-1 alignment and a 1/10000 scale, geological map of motorway alignment and its vicinity, cross sections were prepared. In addition Kom landslide, which is located between ch 12+200 – ch 14+100 has been investigated by a plan map and a cross-section. In the light of these datas, the assessment and classification of damage of the Viaduct-1 foundations works which have been performed after November 12, M=7.2 earthquake by contractor at December-January 2000 has been investigated.

In this study, the lithology, stratigraphy and structural geology of the units have been priorly assessed and the results of the investigation drillings have been evaluated. The geotechnical properties of the formations at the Viaduct-1 alignment have been investigated according to previously performed in-situ and laboratory tests. The observative and instrumental methods which have been used to assess the hazard occurred during the November 12 earthquake and the main factors on the different intensified hazard have been investigated. Moreover, the mass movements located in the east valley up to Tunnel Asarsu portal have been studied.

As a result of the geological investigations, the units were mapped from oldest to youngest. The Devonian age, Yedigöller formation consisting of amphibolite and diorite comprises the basement rocks of the motorway through the Asarsu valley. Above this unit there is İkizoluk formation composed of slate, phyllite, shale and quartzite. The contact is tectonic. The Elmalık granite cuts the Yedigöller formation. Upper Cretaceous – Lower Paleocene is represented by the Gölcük group Fındıcak formation in the area. The Apalar formation composed of, claystone, siltstone and limestone are of Middle – Upper Eocene age. The Quaternary is represented by old-recent alluvium deposits and landslide masses.

Units along the motorway were modified by thrusts during the paleotectonic period and by the North Anatolian Fault zone during the neotectonic period. The Asarsu, Düzce and Bakacak faults which have been developed in association with the (NAF) are the main tectonic features. Between these faults there are mass movements.

Between highway stations ch 6+449 – ch 8+803 mainrock is fractured due to high tectonic intensity. Mainrock is overlain by alluvial sediments deposited by Asarsu river. Piled foundations have been constructed in this section due to high earthquake forces, low bearing capacity of units and irregular structure of Asarsu river. However, Viaduct-1, crossed by November 12, 1999 earthquake surface rupture, has been severely damaged.

The major discontinuities affecting the eastern part of the section are Düzce and Asarsu faults. These faults cause a landslide (Kom landslide) between ch 12+200 – ch 14+100. The landslide currently does not appear to be active, however, subsequent scouring and erosion of the landslide toe by the Asarsu river has locally destabilized the toe and produced smaller landslides. These active slide zones in the toe of the Kom landslide are significant potential hazards to the highway, and could experience reactivation in response to high rainfall, river flooding, earthquake shaking, or construction excavation. Moreover, there is a necessity to take the alignment to the bottom of the valley due to the slide zones located in the north and south walls of the valley. As a result of this, the alignment had to be done through a box culvert.

In order to assess and classify the hazard occurred on Viaduct-1 which has been crossed by November 12 earthquake main surface rupture; topographical observations, core-drilling of piles, echo test, cross-hole test, down-hole test, water infiltration tests and visual inspections of foundations, pile caps and pile heads have been performed.

In the light of the topographical data, it has been clarified that significant ground deformations have occurred across the main rupture, while the remaining portions of the Viaduct-1 have experienced much smaller movements. The foundations have experienced structural damages of different intensity, depending on their distance from the rupture zone. According to the topographical data, the foundations have been divided in two; foundations located on the main rupture zone (P45R, P47L) and foundations away from the rupture zone. According to this interpretation; the large diameter piles pertaining to these foundations have been subjected to relevant soil movements across the rupture surface, extending to a significant depth. The resulting pile displacements are complex and difficult to analyse on a theoretical basis. Under these circumstances, severe structural damage may be expected for all the piles of the 12 piles group. In addition, pile damage may be randomly present at any depth along the pile shaft. Moving away from the rupture surface, structural damage on the piles is expected to occur in well defined patterns, and at well defined depths. In all cases, the damage is likely to be found in the upper 10 m. Of the pile shaft, the pile head is a good indicator of foundation damage, the four corner piles should experience the most severe damage of the pile group and the central portion of the pile section is not the most damaged one inferences have been done and started to perform the other visual and instrumental tests.

As a result, 7 foundations have been taken out as the most damaged ones (P26R, P27L, P34R, P35L, P44L, P45R, P47L). These foundations represent 6% of the total foundation population. Taking into consideration the lithology, hydrology, hydrogeology and geotechnical features of the study area, it has been understood that these features do not control the degree of the hazard but the distance of the foundations from the rupture zone is the main factor which has influenced the intensity of the hazard.

1. GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

Ülke ekonomisinin işlemesi ve gelişmesinde ana unsurların başında yer alan taşımacılık sektörünün iyileştirilmesi için planlanan ve özellikle son 20 yılda hızla uygulamasına geçilen karayolları ağının en önemli kısmını TEM (Trans European Motorway) Otoyolu kapsamında yapılmakta olan Anadolu Otoyolu oluşturmaktadır. Anadolu Otoyolu, ülkenin başkenti Ankara'yı ticaretin yoğun olduğu İstanbul'a ve Avrupa'ya bağlamaktadır.

Anadolu Otoyolu kapsamında bugüne kadar tamamlanamayan tek kısım, Gümüşova–Gerede arası, Bolu Dağı mevkiidir. Otoyolun bu kesiminde, dört adet viyadük ve bir adet tünel yer almaktadır. Depremde en çok yapısal hasara uğrayan kısım, %95 oranında tamamlanmış durumda bulunan, 2.3 km uzunluğundaki Viyadük-1 yapısıdır. İnşaatına 1980'lerin sonlarında başlanan bu yapılar şu ana kadar çeşitli zorluklar nedeniyle tamamlanamamıştır. Bu zorlukların en önemlilerinden birini jeolojik koşullar oluşturmaktadır. Bölgenin Kuzey Anadolu Fay zone (KAFZ) içerisinde yer alması ve sel, heyelan gibi doğal afetlere maruz kalması inşaatı geciktiren etkenlerdendir.

Ülkemizde 12 Kasım 1999 tarihinde meydana gelen ve Düzce Depremi olarak anılan deprem otoyol bünyesindeki yapılarda hasara neden olmuş ve inşa süresini daha da uzatmıştır. Şiddetli geçen kış koşulları ve yüzey şekilleri nedeniyle halihazırda bu kısmı geçişte kullanılan E-5 Bolu Dağı geçiş yolu, taşımacılık için ideal bir yol değildir. Bu da otoyol projesinin önemini ve aciliyetini arttırmaktadır.

Bu nedenle, Gümüşova-Gerede Otoyolu kapsamındaki yapılarda hasara neden olan jeolojik koşulların, hasar yoğunluğunun ve sağlamlaştırma için gerekli teknik yöntemlerin belirlenmesi gerekmiştir.

Tez, bu önemle seçilmiş ve Viyadük-1 yapısının yer aldığı Asarsu Vadisi batı kesimi, mühendislik jeolojisi ve depremsellik açısından değerlendirilip, depremden en çok etkilenen yapı olan Viyadük-1’de hasar sınıflandırılması çalışmaları incelenmiştir.

2. İNCELEME ALANININ TANITIMI

2.1 Coğrafi Konum

Bolu ili toprakları, batıdan Sakarya ve Bilecik, güneybatıdan Eskişehir, güney güneydoğudan Ankara, doğudan Çankırı, kuzeydoğudan Karabük ve kuzeyden Zonguldak illeri ile çevrilidir. Kuzeyde Karadeniz'de 30 km. uzunlukta bir kıyıya sahiptir.

İl topraklarının kapladığı alan 11.200 km²'dir. Türkiye yüzölçümünün %1,44'ünü oluşturur. Kocaeli ve Sakarya illeri ile aynı enlem üzerinde yer alan Bolu'nun en batı ve doğu ucu yaklaşık 186 km. uzunluktadır. İlin kuzey-güney uç noktaları arası da yaklaşık olarak 111 km. uzunluktadır.

2.2 Yüzey Şekilleri

2.2.1 Dağlar

Karadeniz boyunca uzanan dağlar Bolu yöresinde kollara bölünür ve aralarına vadiler ve ovalar girer. Genel olarak Bolu'nun dağları batıdan doğuya ve kuzeyden güneye ilerledikçe yükselme gösterir. Bu dağlar kuzeyden güneye doğru üç sıra halinde ilin yüzölçümünün %60 kadarını oluştururlar.

Karadeniz Kıyı Dağları, kuzeyde Karadeniz kıyısına en yakın sırayı oluştururlar. Ortalama 1.000 m. yükseltideki bu dağlar, kuzeydoğuya doğru yükselerek devam edip Orhan ve Kaplandede dağlarını oluşturur. En yüksek yeri Kızıltepe'dir.

Bolu Dağları olarak adlandırılan bu ikinci sıranın doğrultusu güneybatı-kuzeydoğu istikametinde olup, ilk sıraya göre daha çok yükseltiye sahiptir. Fakat yükseltiler yine de 2000 m.yi bulmaz. En yüksek yeri olan Çele doruğu'nun yüksekliği 1.980 m.dir.

2.2.2 Ovalar

Bütün Türkiye' de olduğu gibi Bolu'da da dağların genel uzanışlarına uygun elips şeklinde çukur düzlükler görülür. Bunlar nüfusun en çok toplandığı alüvyonlarla rtl tarım alanlarıdır. İl yüzölçümünün % 9 kadarını kaplayan ovalar genel olarak doğu batı istikametinde uzanırlar.

2.3 Bitki rts

Bolu'da hakim bitki örtüsü ormanlardır. 11051 km²'lik il topraklarının yarından fazlasını (%53) orman örtüsü oluşturur. Türkiye'de mevcut 7000 den fazla bitki türünün yarından çoğu Karadeniz Bölgesinde toplanmıştır. Bu bitkiler Doğu Karadeniz'de ılıman iklim ve bol yağış nedeniyle 2200 m. yükseltiye kadar, Batı Karadeniz de ise 1900-2000 m.lere kadar çeşitli türlerde yer alırlar.

584.000 hektarlık alana yayılmış Bolu ormanları, Türkiye ormanlarının %2.9 unu oluşturur. Bunun %92,3  baltalık, %8,7 si koruluktur. Koruluk ormanların %69 u iğne yapraklı, %16,5 i geniş yapraklı, %14,5'i de karışık ağaçlardan oluşur.

Karadeniz kıyısındaki dar şeritte maki olarak adlandırabileceğimiz bitki türleri yer alır. Bunların bir kısmı, kışın da yeşilliğini koruyan bodur ağaıklardan oluşur. Katran ağacı, sumak, taflan, çeşitli fundalar, kızılıcık, böğürtlen ve diğer sarmaşık türleri bu topluluğun başlıca türleridir. Kıyı şeridinden sonra gelen dağ sıraları zengin orman türleri ile kaplıdır. Başlıca türler ise başta kayın olmak üzere, gürgen, ıhlamur, kestane, kızılağaç, meşe, dişbudak, yabani fındık, beyaz söğüt, ve titrek kavaktır. Bu ağaç örtüsünün altı diğer ot toplulukları (zakkumlar ve çeşitli dağ çiçekleri, mantar türleri vb.) bakımından zengindir. Doğuda, deniz seviyesinden 600 m. yükseltide iğne yapraklı ağaç türleri daha çok yer alır.

2.4 Nüfus ve Yerleşim

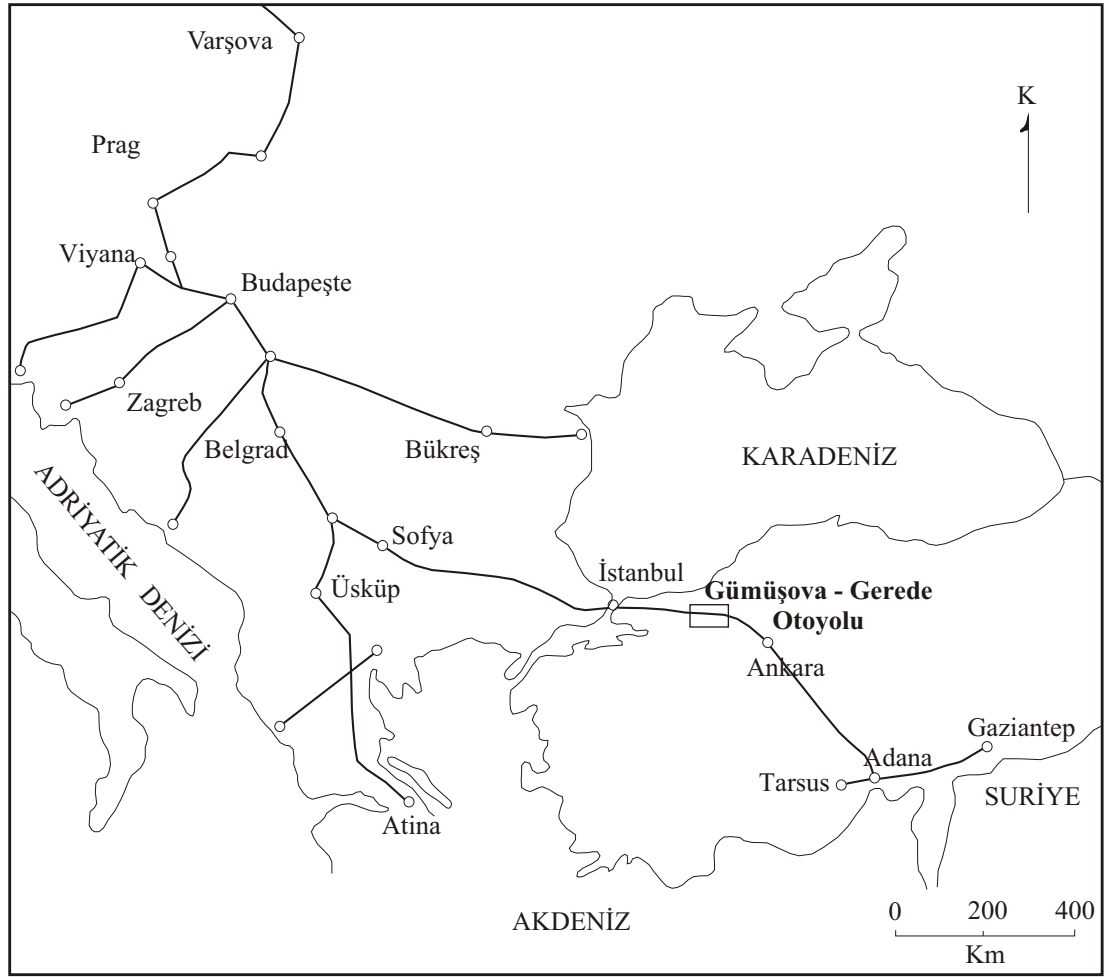
Göllerle birlikte alanı 11.200 km² olan Bolu ilinde 1997 nüfus sayımının kesin olmayan sonuçlarına göre 546.109 kişi yaşamaktadır. Nüfus yoğunluğu km² başına yaklaşık 49 kişi olup, Türkiye ortalaması olan 83 kişinin oldukça altındadır. Bu oran da yine ilçelere göre büyük farklılıklar gösterir. Bolu Merkez İlçe, km² başına 78 kişi ile Türkiye ortalamasına yakın bir yoğunluk gösterir. Yeniçağa, Dörtdivan ve Gerede az yoğun ilçeler olup; yoğunluklar 58 ile 31 arasında değişir. İl içinde en seyrek nüfuslanmış yerler; Mengen, Seben, Göynük ve Kıbrısık dolaylarıdır.

2.5 Otoyol Güzergahı

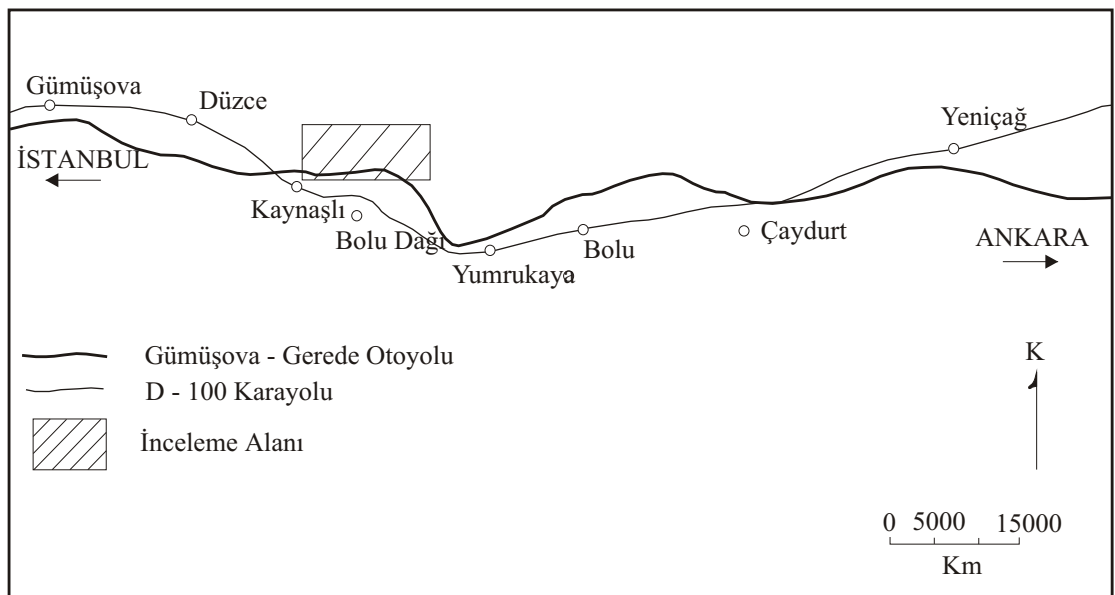
Uzunluğu 10.000 km. olarak planlanan Transit Avrupa Otoyolu (TEM) içerisinde Anadolu Otoyolu da yer almıştır (Şekil 2.1). TEM'in 3.600 km.si Türkiye topraklarından geçmektedir. Gümüşova-Gerede Otoyolu Anadolu Otoyolu'nun 114 km.lik kısmını oluşturmaktadır (Şekil 2.2).

Bolu dağlarıyla ilgili güzergah belirleme çalışmalarına 1986 yılında topoğrafya haritaları ve hava fotoğraflarından yararlanılarak ön inceleme çalışmaları ile başlanmıştır (Astaldi Rapor No.0901).

Güzergah seçiminde ekonomik, sosyal ve askeri faktörlerle birlikte topoğrafya, jeomorfoloji, litoloji, yapısal özellikler, hidrolik, hidrojeoloji ve kütle hareketleri gibi faktörler değerlendirilmiştir. Ön incelemeler sonucunda üç adet güzergah belirlenmiştir. Araştırmalar sonunda, Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından Asarsu vadisi ve Bolu Tünel güzergahının incelenmesi önerilmiş ve çalışmalar bu güzergah üzerinde başlatılmıştır.



Şekil 2.1 İnceleme Alanının Konumu - Transit Avrupa Otoyolu (TEM)



Şekil 2.2 Anadolu Otoyolu Gümüşova - Gerede kısmında inceleme alanının konumu

3. İNCELEME ALANININ GENEL JEOLojİSİ

3.1 Stratigrafi

İnceleme alanı; metamorfik kayaların faylandığı ve kıvrımlandığı, yapısal olarak kompleks bir jeolojik birim olan Pontidlerin batı kısmında yer alır. Pontidler üç an paleotektonik alt zona ayrılabilir. Bunlar; kuzeyde Pontid Zonu, güneyde Sakarya Zonu ve aralarındaki Armutlu-Ovacık Zonu'dur. İncelenen bölge Pontid ve Armutlu-Ovacık Alt Zonları'nın içerisinde yer alır.

Anadolu Otoyolu, Asarsu Vadisi geçiş alanının temelini Devoniyen öncesi yaştaki Yedigöller formasyonu oluşturur. Devoniyen İkizoluk Formasyonu ve Elmalık Graniti ile temsil edilir. Üst Kretase sonunda (Paleosen) başlayan transgresyon ile Fındıcak Formasyonu çökelmiştir. Orta-Üst Eosen'de ise Apalar formasyonu yer alır. Kuvaterner, alüvyon, alüvyal teras ve heyelan çökelleri ile temsil edilir (Şekil 3.1, Ek-A, Ek-B).

3.1.1 Yedigöller Formasyonu (P₂y)

Başlıca amfibolit ve diyorit'ten oluşan birim, Aydın ve diğ. (1987) tarafından adlandırılmıştır. İnceleme alanında başlıca mostraları, Viyadük-1 güzergahının doğu ucunda, Asarsu vadisinin kuzey yamaçlarında, Asarsu tünel portalında ve Sarmaşıklı tepe dolaylarında yer alır (Şekil 3.2). İnceleme alanında, Yedigöller formasyonunun tabanı gözlenememektedir. Formasyonun üst dokanağı şeyl, fillat ve sleyt içeren İkizoluk Formasyonu ile birleşir. Ayrıca Yedigöller formasyonu, güncel alüvyon ve göl çökelleri tarafından diskordans olarak örtülüdür. Çalışma alanı içerisinde geniş bir yayılımı olan Yedigöller formasyonunun kalınlığı, birimin alt ve üst sınırlarının belirsizliği nedeniyle ölçülememiştir.



Şekil 3.2 Asarsu vadisi kuzey yamaçlarında gözlenen Yedigöller formasyonuna ait amfibolit birimi (km 13+880)

Formasyonu araştıranlar arasında birimin bölgedeki temeli oluşturduğu ve Prekambriyen yaşlı olabileceği konusunda görüş birliği vardır (Ketin, 1967; Canik, 1980; Aydın, 1987; Cerit, 1990). Çalışma alanında da birim temeli oluşturmakta ve üzerine gelen çökeller tarafından tektonik dokanakla örtülmektedir.

3.1.2 İkizoluk Formasyonu (Di)

Başlıca fillat, sleyt, kuvarsit ve kristalize kireçtaşından oluşmaktadır. Birim ilk kez Gözübol (1978) tarafından İkizoluk formasyonu olarak tanıtılmıştır. İkizoluk formasyonu Asarsu vadisinin güney yamaçlarında ve Elmalı sırtında mostra vermektedir.

İkizoluk formasyonunun alt düzeylerinde fillat, sleyt, kalkşist ve kuvarsitler yer almaktadır. İstif daha üst kesimlere doğru, metamorfizmanın giderek azalan kesimlerinde şeyl, kiltası, silttaşı ve ince taneli kumtaşı ardalanması ile devam eder.

İkizoluk formasyonu, çalışma alanında, alt ve üst birimlerle birincil ilişkisinin kaybolmasından dolayı tektonik ilişkiler kazanmıştır. Birime, Abdüselamoğlu (1959), Canik (1980) ve Yılmaz (1981) Devoniyen yaşını vermişlerdir.

3.1.3 Elmalık Graniti (Ke)

Bölgede Üst Kretase'deki tektonizmaya bağlı çeşitli boyutlarda granit'e rastlanmıştır. Bunlardan en büyüğü Elmalık'ta gözlenirken, birimin Asarsu vadisinin batısında, Viyadük-1'in bulunduğu kesimde ve Dereboyu mahallesinde de geniş mostraları vardır. Birim, Asarsu vadisinin batısında, sarımsı kahverengi tümüyle ayrılmış olarak gözlenir (Şekil I.1).

Granitler, Kuzey Anadolu Fay zonunun güneyinde Devoniyen'den yaşlı (Gözübol, 1978), kuzeyinde ise Üst Kretase'den genç (Yılmaz ve diğ., 1981) olarak saptanmışlardır. İnceleme alanında, granitlerin Üst Kretase'den genç oldukları kabul edilmiştir.

3.1.4 Gölcük Grubu – Fındıcak Formasyonu (Ktf)

Kireçtaşı, kumtaşı ve kıltaşı'ndan oluşan istif Canik (1980) tarafından adlandırılmıştır. İstif, Asarsu vadisinin batısında, Viyadük-1 güzergahının bulunduğu kesimde, Bolu dağlarında ve Tünel Elmalık portalında mostra vermektedir.

Fındıcak Formasyonu, çalışma alanında Elmalık graniti üzerine diskordan olarak gelmektedir. İkizoluk formasyonu ile dokanağını Bakacak fayı, Yedigöller formasyonu ile olan dokanağını ise Düzce fayı oluşturmaktadır.

Birime Abdüselamoğlu (1959) tarafından Üst Kretase, Gözübol (1978), ve Yılmaz ve diğ. (1981) tarafından ise Eosen yaşı verilmiştir.

3.1.5 Apalar Formasyonu (Ta)

Kıltaşı, silttaşı ve şeyl'den oluşan istif Canik (1980) tarafından adlandırılmıştır. İstif, Elmalık köyü dolayında ve Asarsu vadisinin batısında mostra vermektedir.

İstif içerisinde Fındıcak ve İkizoluk formasyonlarına ait blok boyutunda çeşitli kütleler bulunmaktadır. Birim, çalışma alanında Yedigöller formasyonu ve Elmalık graniti ile tektonik dokanaktır. Apalar formasyonun üst dokanağı ise alüvyon çökelleri tarafından diskordan olarak örtüdür.

Birime Canik (1980) ve Cerit (1990) tarafından Orta-Üst Eosen yaşı verilmiştir.

3.1.6 Kuvaterner Çökelleri

3.1.6.1 Alüvyal Teras Çökelleri (Qt)

En büyük mostrası Kom Heyelanı'nın doğusundadır. Haritalanamayacak boyutlarda gözlenen diğer teras çökeli mostraları Elmalık deresinde bulunmaktadır. Kom deresinin doğusundaki teras çökeli mostrası sarımsı beyaz, yer yere erime boşluklu, kalın - masif katmanlı, genellikle sert ve sağlamdır. Teras oluşumlarının altında Yedigöller formasyonuna ait birimler vardır (Şekil I.2).

Çökellerin oluşumunda yüzeye çıkan yeraltı suları etkili olmuştur. Güney vadi boyunca gözlenen çökeller, vadinin kuzey yamacındaki aynı çökellerle korelatif olarak uyumludur.

3.1.6.2 Heyelan Baraj Gölü Çökelleri (Qls)

Asarsu vadisinin kuzey yamaçlarında neotektonizmaya bağlı olarak gelişen kaymanın (Kom Heyelanı) vadi içini kapatması ve göl-akarsu ortamı oluşturması ile ilgilidir. Birime ait mostraların Kom Heyelan kütlesinin batısında bulunmaması da bu görüşü destekler niteliktedir. Birim Elmalık köyü dolayında, tünel güzergahının Asarsu portalında ve Asarsu vadisinin kuzey yamaçlarında gözlenir. Killi silt, kumlu silt, bloklu çakıllı kum ardalımasından oluşan istif bazı araştırmacılar tarafından "Asarsu Formasyonu" olarak adlandırılmıştır. Heyelan baraj gölü çökelleri yataydır ve faylanmamıştır (Şekil 3.3). Birim Yedigöller formasyonu üzerinde diskordan olarak yer almaktadır. Benzer fasiyesteki çökel birimlere, Abdüselamoğlu (1959), Gözübol (1978) ve Canik (1980) tarafından Pliyosen yaşı verilmiştir.



Şekil 3.3 Heyelan barajı göl çökelleri (km 14+415)

3.1.6.3 Deresel Teras Çökelleri (Qad)

Asarsu vadisinin batısında, km 6+450 ile km 6+950 arasında gözlenen çökeller açık kahverengi çakıllı killi kumdan oluşur. Malzeme granit, diyorit, amfibolit gibi magmatik kayalardan oluşur. Birim içerisinde yer yer çapraz tabakalanma gözlenir (Şekil 3.4).

3.1.6.4 Güncel Alüvyon Çökelleri (Qal)

Çalışma alanında, vadi tabanında alüvyon çökeli bulunmaktadır. Yaygın olarak Asarsu vadisinde, Keçi deresinde, Kom deresinde ve Elmalık deresinde değişik kalınlıklarda alüvyon oluşumları gözlenmektedir (Şekil I.3).

3.2 Yapısal Jeoloji

Bölgenin tektonik evrimi içerisinde çalışma alanı, farklı jeolojik evrelerde farklı yapısal hareketler geçirmiş, bindirme, çeşitli türden faylar ve çatlaklar kazanmıştır. Jeolojik evrim modeli içerisinde bindirmeler, Üst Kretase sonunda bölgenin sıkışmalı kuvvet rejiminin etkisi altına girmesiyle başlamış ve bu olay Üst Miyosen'e kadar devam etmiştir (Yılmaz ve diğ., 1981). Üst Miyosen'den günümüze kadar geçen dönemde ise Kuzey Anadolu Fay Zonu ile ilgili doğrultu atımlı faylar ve bu faylarla ilgili yapı unsurları gelişmiştir. Bölgede ve çalışma alanında Üst Miyosen' e kadar geçen dönem paleotektonik, Üst Miyosen'den günümüze kadar geçen süre ise neotektonik dönem olarak adlandırılmıştır.



Şekil 3.4 Deresel teras çökelleri içinde gözlenen çapraz tabakalanma (km 5+700)

Bölgede ve inceleme alanında paleotektonik yapıların izleri, Kuzey Anadolu Fay zonu'nun gelişimine neden olan hareketler ile büyük ölçüde silinmiştir. Neotektonik dönem ile ilişkili yapı güncel olarak egemen gözükmektedir. Çalışma alanı, Şengör ve Yılmaz (1981) tarafından "Batı Pontidler" olarak tanımlanmıştır.

Ana faylar bölgenin genel tektonik yapısına uygun olarak Kuzey Anadolu Fay Zonu ile ilişkilidir.

Düzce Fayı, inceleme alanında Kaynaşlı ovasının kuzey sınırını oluşturur. Yaklaşık D-B gidişli Düzce fayı inceleme alanına Darıyeri-Hasanbey köyü civarında girer ve otoyol güzergahını 10-15°'lik bir açıyla keser.

Düzce fayı doğuda, Keçi deresinin başlangıcında iki kola ayrılarak bir sırt oluşturur. Bu iki kol 500 m sonra birleşerek tek bir fay şeklinde devam eder (Ek-A, Ek-C).

Asarsu fayı, vadinin şekillenmesini sağlayan faylardan birisidir. İnceleme alanındaki başlıca doğrultusu BKB-DGD 'dur. Fay, arazide üçgen yüzeyli şevler, aktif kitle hareketleri ve aşınmadan korunmuş kayalar ile belirgindir (Ek-B).

Bakacak fayı, Düzce fayı civarından Bolu'nun birkaç kilometre batısına kadar, yaklaşık 10 –15 km. boyunca uzanır. Düzce ve Bakacak fayları arasında iki büyük heyelan yer alır; Bakacak Heyelanı, Bülbülderesi Heyelanı (Ek-F). İki fay arasındaki yapısal bağlantı bu heyelanlar tarafından örtülüdürler. Bakacak fayı Pontidler ve Armutlu-Ovacık alt zonu arasındaki tektonik sınırı oluşturur. Fayın genel doğrultusu, Asarsu vadisine uygun olarak BKB-DGD gitmektedir.

Tektonizma nedeniyle, vadide kuvaterner yaşlı çökeller dışında belirgin katmanlanma izlenmemektedir.

Yedigöller formasyonu içerisinde sistemsiz çatlaklar çoğunluktadır (Şekil I.4). Fındıcak formasyonu ve Elmalık granitinde de fay zonları yakınlarında sistemsiz çatlaklar gözlenmiştir.

3.3 Jeolojik Evrim

Çalışma alanının jeolojik evrim modeli, Yılmaz ve diğ., (1981) tarafından inceleme sahasının güneybatısında, geniş bir alanda yaptıkları saha çalışmaları sırasında derledikleri bilgilerin değerlendirilmesi ile yapılmıştır.

Yazarlara göre, bölgede Üst Kretase başında Sakarya ve Pontid kıtaları bulunmaktadır. Bu iki kıta arasında ise Neotetis'in kuzey kolu bulunmaktadır. İnceleme alanı, bu evrim modeli içerisinde Pontid kıtasının güney ucunda, kıtasal kabuk üzerinde bulunmaktadır.

Bölgede Kampaniyen'de dalmanın başlaması ile birlikte Batı Pontid kıtası önünde, kıtanın ucuna karşı sıyrılan, dilimlenen okyanus levhası (Almacık Ofiyoliti) geniş bir yığılma prizmasının gelişmesine yol açmıştır.

İkizoluk formasyonunda alttan üstte doğru metamorfizmanın tedricen azalması ve çökel kayalarına geçilmesi, okyanusun kuzey kenarının aktif bir yitim zonu olduğuna ait verileri oluşturmaktadır. Bu veriler, toplu halde bölgede görülen metamorfizmanın Üst Kretase'de geliştiğine işaret etmektedir.

Paleosen'de okyanusun tüketilmesi ile, Pontidler'in güney ucundaki okyanus taban çökelleri, yitim zonu boyunca şiddetli bir tektonizmaya uğramıştır. Devam eden dalma batmaya bağlı olarak, kalın bir melanj prizması gelişmiştir. Bölgedeki granit intrüzyonu, sözü edilen dalma olayına bağlı olarak gelişmiş görülmektedir. Pontidler'de kıtasal kalınlaşma ve kısılma geliştikten belli bir süre sonra, güneyde yer alan Sakarya kıtası, kuzeye ilerlemesine devam etmiştir. Kıtasal malzemenin, daldığı derinlikte kısmi ergimesiyle oluşan bölgedeki intrüzif granitler ve diğer dayk kayaları yukarı doğru sokulmuştur. Okyanus tabanının dalıp batması, Pontid kıtası ile Sakarya kıtasının çarpışması nedeniyle ile Üst Eosen'den önce sona ermiştir (Şengör ve Yılmaz, 1981)

Çalışma alanındaki saha verileri bu model içerisinde değerlendirildiğinde yapı şöyle yorumlanmıştır: İstifin mostrada görülen en alt kesiminde, otokton ve kıtasal kabuk kökenli Yedigöller formasyonu yer alır. Bunun üzerinde ise, "Paraotokton" birimler olarak Paleozoyik metamorfik istif ile örtü kayaları yer almaktadır. Çökel kayaları da çökeliminden sonraki dönemlerde devam eden K-G yönlü sıkışmalı rejim içinde, yer yer itilerek paraotokton nitelik kazanmış, böylece bölgedeki birimler tektonik yolla üst üste yığılmışlardır.

Yedigöller formasyonu ile Abant karmaşığı arasına da çeşitli boyutlarda granotoidler sokulmuştur. Bölgedeki rejim Üst Miyosen 'den (Yılmaz ve diğ., 1981) sonra değişmiş, bu dönemden sonra bölgede Kuzey Anadolu Fay Zonu ile ilişkili yaklaşık K-G doğrultulu sıkışmalı rejim ve bunun sonucunda doğrultu atımlı faylar ve bu fayların denetiminde akarsu-göl ortamında oluşan birimler çökelmiştir.

4. GUMÜŞOVA – GEREDİ OTOYOLU KISIM – 2'NİN TANITIMI

4.1 Genel

Ankara'dan Avrupa'ya açılan TEM Otoyolu birçok sayıda tünel, viyadük, alt ve üst geçit içermektedir. TEM Otoyolu'nun Gümüşova – Gerede arasını bağlayan Asarsu Geçişi kesiminde 4 ana yapı yer alır: Viyadük-1, Viyadük 2, Viyadük-3, Viyadük-4 (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Asarsu vadisinin genel görünüşü – Doğu-Batı yönlü bakış

4.2 Viyadük - 1

Bu tez çalışmasına konu olan Viyadük – 1, otoyol güzergahı boyunca, km 6+449'dan km 8+803'e kadar uzanan 2.354 kilometre uzunluğunda bir yapıdır (Şekil 4.2). Çift taraflı ve 59 açıklıklı olan Viyadük-1, 12 Kasım 1999 depremi öncesinde 95% oranında tamamlanmıştır.

Açıklıklar, 40 m boyundadır ve mesnetler üzerinde yer alan 7 adet öngermeli beton kirişten oluşmaktadır. Döşeme sürekli olarak 10 açıklık boyunca görev yapmaktadır. Viyadük ayakları; tekil, oktagon, yerinde betonlanmış, donatılı beton kolonlardır. Beton dizayn yükü 30 Mpa olarak belirlenmiştir. Plan boyutunda 4.5'a 8.0 metre olup, yükseklikleri 10 ile 49 metre arasında değişmektedir. Viyadük-1 ayrıca Enerji Absorbe Edici Birim (EDU) sistemiyle donatılmıştır. Bu sistem boysal termal hareketleri absorbe etmek ve sismik kuvvetleri azaltmak için yerleştirilmiştir.

Uzunluk	: 2.354 metre
Genişlik	: 2 x 17.50 metre
Toplam Ayak Sayısı	: 58
Maks. Ayak Yüksekliği	: 49.00 metre
Maks. Açıklık	: 39.60 metre
Ayak Temeli	: 1800 mm. çapında sürtünme kazıkları



Şekil 4.2 Viyadük-1'in genel görünüşü – Doğu-Batı yönlü bakış

4.3 Viyadük - 2 , Viyadük - 3, Viyadük – 4

12 Kasım 1999 depremi öncesinde, Asarsu vadisinin Bolu Tüneli Asarsu portalına kadar olan bu kesiminde, yapımı %5 oranında tamamlanmış olan Viyadük – 2 yapısı projelendirilmiştir. Deprem sonrası Viyadük-2 bünyesinde yapılmış olan %5’lik kısım iptal edilerek güzergah yeniden projelendirilmiş ve Tünel Asarsu portalına kadar uzanan Viyadük-2, Viyadük-3, Viyadük-4 yapılarının inşasına karar verilmiştir (Şekil 4.3).

Viyadük – 2, km 11+800 – km 13+085 arasında konumlanmış olup, toplam uzunluğu yaklaşık 1.285 m.dir.

Viyadük – 3, km 13+250 – km 13+640 arasında konumlanmıştır ve toplam uzunluğu yaklaşık 390 m.dir.

Viyadük–4; km 14+090 – km 14+850 arasında konumlanmıştır ve toplam uzunluğu yaklaşık 760 m.dir.



Şekil 4.3 Viyadük-4’ün genel görünüşü – Doğu-Batı yönlü bakış

5. İNCELEME ALANININ MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ

5.1 Giriş

Anadolu Otoyolu Bolu dağı geçişinde Asarsu vadisinin batısındaki, Viyadük-1'i barındıran kısmın mühendislik jeolojisi çalışması yapılmış ve bölgenin topoğrafyası, jeomorfolojisi, litolojisi, yapısal unsurları, birimlerin geoteknik özellikleri ve yüzey ve yeraltı suları araştırılmıştır. Vadinin doğusunda, Bolu tünelinin Asarsu portalına kadar olan kesiminde ayrıca otoyolu etkileyen en büyük kütle hareketi olan Kom Heyelanı incelenmiştir.

5.2 Asarsu Vadisi Batı Kesimi

Asarsu vadisinin batısında yer alan kesimde güzergah, genel olarak Asarsu deresi yatağı boyunca devam eder.

5.2.1 Asarsu Vadisi Batısının Jeomorfolojik Yapısı

Otoyol ekseninin geçtiği Asarsu deresinin kuzeyindeki ilk 500 m'de, düz bir teras yer alır. Terasın vadiye doğru hemen hemen dik bir yamacı bulunmaktadır ve yükseltiler 345 m ile 395 m arasında değişir.

Teras, Viyadük-1'in başlangıç noktasının 80 m doğusunda, dar ve dik, kuzey-güney doğrultulu bir vadi ile kesilir. Yaklaşık 500 m boyunca güzergah bu terasın üzerinde yerleşmiştir. Daha sonraki yaklaşık 2 km boyunca Asarsu vadisinin tabanında temellendirilen viyadük, güneydeki dar ve uzun bir sırt boyunca devam ederek son bulur. Asarsu vadisinin bu kesiminde, vadi genişliği 60 m ile 120 m arasında değişir. Vadinin kuzey yamaçları dik ve orman örtüsüyle kaplı iken, güney yamaçlar daha az dik ve daha kısa bir bitki örtüsüyle kaplıdır.

5.2.2 Asarsu Vadisi Batısının Jeolojisi

Otoyol güzergahının Asarsu vadisinin batısındaki kısmında Yedigöller Formasyonu (P_zy), Gölcük Grubu Fındıcak Formasyonu (Ktf), Apalar Formasyonu (Ta), deresel teras çökelleri (Qad) ve güncel alüvyon çökelleri (Qal) yer almaktadır. Otoyol güzergahı boyunca bu birimler yüzey jeolojisi ve yer altı jeolojisi verileri ile birlikte değerlendirilmiştir (Ek-A, Ek-C).

5.2.2.1 Yedigöller Formasyonu (P_zy)

Yedigöller formasyonu başlıca amfibolit ve diyorit olmak üzere gnays, amfibolgnays ve metakuvarsit'ten oluşur. Formasyon, Asarsu vadisinde km 8+660'den km 13+950'ye kadar olan kesimde izlenir.

Vadinin batısındaki, Viyadük-1'in bulunduğu kesimde, yer altı koşullarını öğrenebilmek amacıyla yüklenici firma tarafından 6 adet araştırma sondajı yapılmıştır (AS-184, AS-185, AS-186, AS-187, AS-188, AS-199). Bu sondajlarda birim, kahverengi-gri renkli, çok ayrılmış, kırıklanmış bir yapıdadır. Eklem ve çatlaklar siltli, killi malzeme ile doldurulmuştur.

Güzergahın bu kesimindeki diyorit-amfibolitler, yoğun ayrılmış ve kırıklanmış olduklarından, sondajlarda herhangi bir örnek alınamamış ve RQD değeri elde edilememiştir.

5.2.2.2 Gölcük Grubu – Fındıcak Formasyonu (Ktf)

Gölcük Grubu-Fındıcak formasyonu çok ayrılmış ve ezilmiş kilaşı-kireçtaşı-kumtaşı aralanmasından oluşur. Formasyon Asarsu vadisinin batı kesimindeki otoyol güzergahında km 6+450 ile km 7+230 arasında bulunur. Formasyon burada güncel alüvyon çökelleri ve deresel teras çökelleri ile örtülüdür. Km 6+490 – km 6+530 ve km 6+840 – km 6+940 arasında birim üzerindeki deresel teras çökellerinin kalınlıkları 13.50 m ile 40.00 m arasında değişirken, km 7+060 – km 7+230 arasında birim üzerindeki güncel alüvyon çökellerin kalınlıkları 3.30 m ile 12.00 m arasındadır.

Yeraltı koşullarını öğrenebilmek amacıyla yapılan 12 adet sondajda bu birim kesilmiştir (AS-122, AS-150, AS-154, AS-160, AS-146, AS-147, AS-161, AS-144, AS-162, AS-143, AS-163, AS-164). AS-146 ve AS-161 no'lu sondajlarda, formasyonun üst kısmında tümüyle ayrışma saptanmıştır. Bu kesimlerde birim, kilaşı-kireçtaşı-kumtaşı parçaları içeren çok katı siltli kil olarak belirmektedir. AS-147'den AS-144'e kadarki sondajlarda da ayrıışmış malzeme çok katı killi matriks içerisinde gözlenirken, AS-162'den AS-164'e kadar olan sondajlarda malzeme çok sıkı kumlu matriks içerisinde gözlenmektedir.

5.2.2.3 Apalar Formasyonu (Ta)

Apalar Formasyonu kilaşı-silttaşı-şeyl ardalanmasından oluşur. Formasyon Asarsu vadisinin batı kesiminde km 7+660 – km 8+660 arasında, güncel alüvyon çökelleri tarafından örtölü olarak bulunur. Fay zone içerisinde kalması nedeniyle tümüyle ezilmiş ve karışmıştır. Ezilme derecesinin yüksekliğı nedeniyle, ön proje aşamasında formasyon, “fay kili” olarak tanımlanmıştır. Kumlu killi matriks içerisindeki kayaç parçaları, 2.00 mm ile 8.00 cm büyüklüğündeki küçük parçalar halinde gözlenir. Formasyon sık kuvars damarları içerir.

Yeraltı koşullarını öğrenebilmek amacıyla yapılan 24 adet sondajda bu birime rastlanmıştır (AS-138, AS-171, AS-137, AS-172, AS-136, AS-173, AS-135, AS-174, AS-134, AS-125, AS-176, AS-177, AS-133, AS-178, AS-132, AS-179, AS-131, AS-180, AS-130, AS-128, AS-181, AS-182, AS-129, AS-183). AS-136 ve AS-177 sondajları arasında, formasyonun üst bölümündeki tümüyle ayrışma nedeniyle malzeme kayaç parçaları içeren çok katı siltli kil olarak belirir. Aynı aralıkta, formasyonun alt bölümlerinde ise çok ayrıışmış malzeme killi matriks içerisinde gözlenir. AS-177'den AS-128'e kadar, çok ayrıışmış malzeme sıkı kumlu matriks içerisinde yer almaktadır.

5.2.2.4 Deresel Teras Çökelleri (Qad)

Birim bloklar içeren çok sıkı çakıllı killi kumdan oluşur. Güzergahta km 6+450 – km 6+950 arasında bulunurlar. Malzeme içerisindeki çakıllar granit, diyorit, amfibolit gibi magmatik kayaç kökenlidir. Çakıllar yuvarlaktır ve çok-tümüyle ayrıışmıştır. Bu birimin kalınlığı erozyon nedeniyle oldukça değişkendir.

Güzergahın başlangıcında, km 6+450 civarında yapılan sondajlarda 43.00 m kalınlığa sahip olan birim, km 6+530'da 1-2 m kalınlığa kadar düşer. Km 6+570'de, vadi yamacında 5.80 m kalınlıktaki açık kahverengi, gevşek siltli kum (yamaç molozu) tarafından örtülüdür.

Yeraltı koşullarını öğrenebilmek amacıyla yapılan 10 adet sondajda bu birime rastlanmıştır (AS-152, AS-151, AS-153, AS-120, AS-150, AS-154, AS-121, AS-147, AS-159, AS-146). Malzeme, AS-147 ve AS-159'da çakıl ve bloklarla aratabakalanmalıdır.

5.2.2.5 Güncel Alüvyon Çökelleri (Qal)

Asarsu vadi tabanı boyunca en yaygın olarak güncel alüvyon çökelleri izlenir. Çökeller vadide km 7+057'den km 15+000'a kadar yayılım gösterirler. Vadinin batı kesiminde ise km 7+057 – km 8+610 arasındadırlar. Asarsu deresi tarafından çökeltilmiş alüvyal çökellerdir. Genellikle yuvarlak, yarı yuvarlak, az ayrılmış, orta derece yumuşak-çok sert metadiyorit, amfibolit, metagranit ve diğer kayalardan türeyen çakıllı kum, killi kum, bloklu çakıllı kum ve bloklu çakıldan oluşur. Çökellerin kalınlığı; km 7+050 – km 7+335 arasında 3.00 m ile 9.00 m, km 7+335 – km 7+700 arasında 13.50 m ile 30.50 m, km 7+700 – km 8+100 arasında 7.00 m ile 16.50 m ve km 8+100 – 8+585 arasında 1.40 m ile 6.00 m arasında değişir. Çökeller çeşitli yerlerde yamaç molozu ile karışmış halde bulunurlar. Km 7+057'den km 8+610'a doğru dane boyutu artmaktadır. Çökellerin değişik derinliklerinde çapları 30 cm ile 80 cm arasında değişen iri bloklara rastlanmıştır. Güncel alüvyon çökelleri arasında, kalınlığı birkaç metre ile sınırlı kalan mercer veya kama şekilli az plastik, orta sıkı, gri silt, kumlu silt ve killi silt çökelleri bulunur.

Yeraltı koşullarını öğrenebilmek amacıyla km 6+960 - km 8+580 arasında yapılan tüm sondajlarda güncel alüvyon çökellerine rastlanmıştır. Km 7+170 ile km 7+310 arasında yapılan dört sondajda önemli miktarda kile rastlanmıştır. AS-162 ile AS-166 sondajları arasında maksimum kalınlığı 6-7 m mertebesinde olan orta katı siltli kil tabakası bulunmaktadır.

5.2.3 Asarsu Vadisi Batısının Yapısal Jeolojisi

Bölgedeki tektonik evrim sonucu, otoyol güzergahının Asarsu vadisi batısındaki geçişinde yer alan Yedigöller formasyonunda değişken bir süreksizlik yoğunluğu ve yönelimi ortaya çıkmıştır. Otoyol güzergahını etkileyen en önemli süreksizlik, Düzce fayıdır (Şekil 5.1).

12 Kasım 1999 depremi yüzey kırığı, morfoloji ve geniş bir alana yayılmış olan fay kili, yaklaşık D-B gidişli Düzce fayının varlığına ilişkin açık deliller sunar. İnceleme alanında Yedigöller ve Apalar formasyonlarına ait birimleri etkileyen fay, Asarsu fayına paralel gittikten sonra, onunla birleşerek Kaynaşlı ovasının kuzey sınırını oluşturur. Düzce fayı, inceleme alanına Darıyeri-Hasanbey köyü civarında girer.

Güzergah civarındaki diğer bir önemli süreksizlik, sağ yanal doğrultu atımlı, KD-GB gidişli bir faydır. Fayın aralarında tektonik dokanak oluşturduğu Apalar formasyonu ve Elmalık graniti bu bölgede kırılanmış ve ezilmişlerdir. Fay, güzergahı kestiği noktada güncel alüvyon çökelleri ile örtülüdür.

KD - GB gidişli diğer bir sağ yanal doğrultu atımlı fay da Yedigöller formasyonu ile Apalar formasyonu arasında sınır oluşturur. Bu bölgede de, fay yakınlarında ezilmiş ve kırılmış zonlar mevcuttur.

Vadinin batısında, Yedigöller, Apalar formasyonları ve Elmalık granitinde gelişigüzel çatlaklar çoğunluktadır. Yedigöller formasyonuna ait litolojiler içerisinde 2 çatlak takımı belirlenebilmiştir. Bunlar KD-GB doğrultulu ve değişik eğim derecelerinde GD'ya eğimlidirler. Fay zonlarında Apalar formasyonuna ait KD-KB doğrultulu ve GD-KB ve KD'ya eğimli çatlaklar gözlenir. Elmalık granitinde, KB-KD doğrultulu, KD-KB'ya eğimli çatlaklar mevcuttur.

Yedigöller formasyonu içerisindeki hakim şistozite KB-GD doğrultulu ve GB'ya eğimlidir.

5.2.4 Asarsu Vadisi Batısındaki Birimlerin Geoteknik Özellikleri

Otoyol güzergahının Asarsu vadisi batısındaki geçişinde yer alan birimlerin fiziksel ve mekanik özellikleri yüklenici firma tarafından ön proje aşamasında yapılan çeşitli arazi ve laboratuvar deneyleriyle belirlenmiştir.

Buna göre, araştırılan birimlerin genel olarak bol iri çakıl ve iri blok içermesinden dolayı örselenmemiş numune almak çok zor ve bazı durumlarda da imkansız olmuştur. Bu blok varlığı nedeniyle, SPT de mekanik özellikler için gerçekçi sonuçlar vermemiştir. Sadece bazı siltli, killi seviyelerden alınan numuneler üzerinde uygulanan üç eksenli basınç ve kesme deneyleri kohezyon veya içsel sürtünme açısı için güvenilir sonuçlar vermişlerdir. Bu nedenle, çeşitli durumlarda literatür ve pratiğe dayanan tahmini değerler belirlenmiştir.

5.2.4.1 Yedigöller Formasyonu (P_{zy})

Formasyonun altere ve kırıklı yapısı nedeniyle yapılan sondajlarda herhangi bir numune almak mümkün olmamıştır. Yedigöller formasyonu içerisinde yapılan 6 adet araştırma sondajında kaya kalitesi yüzdeleri (RQD) %0'dır. SPT uygulanamamıştır. Bu nedenle, mekanik özellikler için tahmini değerler belirlenmeye çalışılmıştır. Buna göre, formasyon geoteknik açıdan, ayrılmış kaya parçaları ve blok içeren orta sıkı-sıkı, siltli, kaba kum kütlesi olarak değerlendirilmiştir.

5.2.4.2 Gölcük Grubu – Fındıcak Formasyonu (K_{tf})

Kayaç parçalarının bolluğundan dolayı örselenmemiş numune toplamak çok zor olmuştur. Ayrıca, bu seviyelerde uygulanan SPT de yüksek değerler vermiştir.

Yapılan deney sonuçlarına göre, ortalama doğal birim hacim ağırlık 2.10 g/cm³ ve ortalama su içeriği %16.60 olarak belirlenmiştir. Zemin sınıfları, çakıllı killi kum (SC), çakıllı kil (CL), inorganik kil (CH)'dir.

Bazı kayaç numuneleri üzerinde yapılan tek eksenli basınç ve nokta yük deney sonuçları Tablo 5.1'de sunulmuştur.

Tablo 5.1 Fındıcak Formasyonu Tek Eksenli Basınç ve Nokta Yük Deney Sonuçları

Sondaj No	Derinlik (m.)	Tek Eksenli Basınç Direnci σ_B (kg/cm ²)	Nokta Yük Direnci T (kg/cm ²)	Litoloji
AS-145	8,20	679,00	-	Kireçtaşı
AS-145	10,20	340,00	-	Kireçtaşı
AS-145	9,00	-	105,00	Kireçtaşı
AS-147	36,00	262,00		Kumtaşı
AS-147	36,50	336,00		Kumtaşı
AS-161	20,00	-	354,60	Silttaşı

Gölcük Grubu Fındıcak formasyonu içerisinde yapılan standart penetrasyon deneylerinde SPT N sayıları, üstten ilk 5.00 m’de ortalama 20 değerindedir. Diğer derinliklerde ise 50’nin üzerindedir.

Kayma mukavemeti değerleri, konsolidasyonsuz-drenajsız (UU) üç eksenli basınç ve SPT deneyleriyle belirlenmiştir. Konsolidasyonsuz-drenajsız deneylerde (UU) kohezyon 1.00 kg/cm² – 2.75 kg/cm², içsel sürtünme açısı 0°’dir. SPT deneylerine göre ise kohezyon 0.00 kg/cm² – 2.50 kg/cm², içsel sürtünme açısı 0° - 44°’dir.

Bu formasyon içerisinde alınan numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deney sonuçları Tablo 5.2’de özetlenmiştir.

Tablo 5.2 Geoteknik Özellikler / Gölçük Grubu Fındıcak Formasyonu

Lokasyon	Sondaj No	Derinlik (mt)	Doğal Birim Hacim Ağırlık γ_n (t/m ³)	Doğal Su İçeriği W _n %	Sınıflama	Üç Eksenli Basınç Deneyi		SPT		Kesme Deneyi	
						Drenajsız Kohezyon	Sürtünme Açısı	Drenajsız Kohezyon	Sürtünme Açısı	Drenajsız Kohezyon	Sürtünme Açısı
						Cu (kg/cm ²)	Ø °	Cu (kg/cm ²)	Ø °	Cu (kg/cm ²)	Ø °
6+491	AS-153	0,00 - 37,00	2,20	19,60	CL			0,00	44		
6+530	AS-150	0,00 - 20,00	2,80	13,20	SC			0,00	44		
6+530	AS-150	20,00 - 33,00	2,80	13,00	CL			2,50	0		
6+530	AS-150	33,00 - 39,50	2,80	14,40	SC			0,00	44		
6+572	AS-154	5,80 - 39,95	2,30	14,50	CL			1,40	0		
6+928	AS-146	13,50 - 38,00	2,10	15,50	CL	2,75	0				
7+019	AS-145	0,00 - 7,50						0,00	44		
7+019	AS-145	10,50 - 18,00	2,20					0,00	44		
7+019	AS-145	18,00 - 38,00	2,10	16,00	CL	2,20	0				
7+039	AS-161	0,00 - 7,60	2,00	26,80	CH	1,00	0				
7+039	AS-161	7,60 - 40,00	2,10	16,70	CH	1,70	0	1,60	0		

5.2.4.3 Apalar Formasyonu (Ta)

Formasyonun gri renkli, orta katı siltli kumlu killi matriks içerisindeki kiltası-silttaş-şeyl parçalarından oluşması ve birçok kuvars damarı içermesinden dolayı örselenmemiş numune almak çok zor olmuştur. Bu nedenle, yapılan standart penetrasyon deneylerinde de yüksek içsel sürtünme açıları elde edilmiştir. Formasyonun kayaç parçaları içermeyen killi seviyelerinden üç adet örselenmemiş numune alınabilmektedir.

Yapılan deney sonuçlarına göre, ortalama su içeriği %13.60, ortalama doğal birim hacim ağırlık 2.10 g/cm^3 olarak belirlenmiştir. Zemin sınıfları, çakıllı killi kum (SC) ve çakıllı kil (CL)'dir. Formasyon geoteknik açıdan bol kayaç parçaları içeren siltli killi bir kütle olarak değerlendirilmiştir.

Kayma mukavemeti değerleri, konsolidasyonsuz-drenajsız (UU) üç eksenli basınç ve SPT deneyleriyle belirlenmiştir. Konsolidasyonsuz-drenajsız deneylerde (UU) kohezyon $0.70 \text{ kg/cm}^2 - 1.00 \text{ kg/cm}^2$, içsel sürtünme açısı 0° 'dir. SPT deneylerine göre ise kohezyon $0.00 \text{ kg/cm}^2 - 1.60 \text{ kg/cm}^2$, içsel sürtünme açısı $0^\circ - 44^\circ$ 'dir.

Bu formasyon içerisinde alınan numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deney sonuçları Tablo 5.3'de özetlenmiştir.

5.2.4.4 Deresel Teras Çökelleri (Qad)

Çakıl, iri çakıl ve iri blok varlığı nedeniyle örselenmemiş numune almak çok zor olmuştur ve bu nedenle kayma mukavemeti değerleri standart penetrasyon deneyinden elde edilmiştir.

Ancak çakıl ve blok varlığı nedeniyle SPT değerleri de yüksektir. Sadece siltli killi matriksten gerçekçi sonuçlar alınabilmektedir. Üç adet örselenmemiş numune alınabilmektedir.

Yapılan deney sonuçlarına göre, ortalama su içeriği, %15.50, ortalama doğal birim hacim ağırlık, 2.10 g/cm^3 olarak belirlenmiştir. Zemin sınıfları, çakıllı killi kum (SC), çakıllı siltli kum (SM) ve çakıllı kil (CL)'dir.

Tablo 5.3 Geoteknik Özellikler / Apalar Formasyonu

Lokasyon	Sondaj No	Derinlik (m.)	Doğal Birim Hacim Ağırlık γ_n (t/m ³)	Doğal Su İçeriği W _n %	Sınıflama	Üç Eksenli Basınç Deneyi (UU)		SPT		Kesme Deneyi	
						Drenajsız Kohezyon	Sürtünme Açısı ϕ	Drenajsız Kohezyon	Sürtünme Açısı	Drenajsız Kohezyon	Sürtünme Açısı
						Cu (kg/cm ²)	ϕ (°)	Cu (kg/cm ²)	ϕ (°)	Cu (kg/cm ²)	ϕ (°)
7+764	AS-183	25,40 - 40,00	2,10					0,00	44		
7+737	AS-137	14,00 - 36,00	2,10					0,00	44		
7+817	AS-136	0,00 - 13,50	2,10		SC			0,00	39		
7+817	AS-136	13,50 - 22,50	2,06	21,70	CL	0,90	0	1,60	0		
7+817	AS-136	22,50 - 36,00	2,10					0,00	44		
8+057	AS-176	0,00 - 12,50	2,10	18,00	CL	1,00	0	1,60	0		
8+057	AS-176	12,50 - 21,50	2,10	11,70	SC			0,00	44		
8+057	AS-176	21,50 - 37,00	2,10	13,40	CL			1,60	0		
8+057	AS-176	37,00 - 42,00	2,10	10,40	SC			0,00	44		
8+097	AS-177	0,00 - 10,50	2,10	16,70	CL	0,70					
8+097	AS-177	10,50 - 22,00	2,10	11,10	SC			0,00	44		
8+097	AS-177	22,00 - 24,00	2,10	13,40	CL			1,60	0		
8+097	AS-177	24,00 - 39,00	2,10	11,50	SC			0,00	44		
8+621	AS-183	3,50 - 18,00	2,10	8,50	SC			0,00	44		

Kayma mukavemeti değerleri, SPT ve kesme deneyleriyle belirlenmiştir. SPT deneylerinde kohezyon $0.00 \text{ kg/cm}^2 - 1.60 \text{ kg/cm}^2$, içsel sşrtşnme açısı $0^\circ - 44^\circ$; örselenmemiş numuneler şzerinde yapılan kesme deneyinde ise kohezyon $0.20 \text{ kg/cm}^2 - 1.15 \text{ kg/cm}^2$, içsel sşrtşnme açısı $29^\circ - 36^\circ$ 'dir.

Bu formasyon içerisinden alınan numuneler şzerinde yapılan laboratuvar deney sonuçları Tablo 5.4'de özetlenmiştir.

5.2.4.5 Gşncel Alşvyon kelleri (Qal)

Bu birimde de çakıl, iri çakıl ve iri blok varlığı nedeniyle sadece 3 adet örselenmemiş numune alınabilmiştir.

Yapılan deney sonuçlarına göre ortalama su içeriği %14.00, ortalama doğal birim hacim ağırlık 2.00 g/cm^3 olarak belirlenmiştir. Zemin sınıfları, çakıllı killi kum (SC), akıllı siltli kum (SM) ve çakıllı kil (CL)'dir.

SPT deneylerinde kohezyon 0 kg/cm^2 , içsel sşrtşnme açısı $32^\circ - 43^\circ$ değerlerini vermiştir.

Bu formasyon içerisinden alınan numuneler şzerinde yapılan laboratuvar deney sonuçları Tablo 5.5'de özetlenmiştir.

5.2.5 Asarsu Vadisi Batısının Hidrolojisi

Bu blşmde otoyol gşzergahını etkileyen akarsu ağı ve yağış alanı belirlenmeye çalışılmıştır.

Gşzergahı etkileyen en önemli akarsu olan Asarsu deresinin yağış alanı 11 km uzunluktadır. Yağış alanı 1500 m yşkseltisinde başlar, 300 m yşkseltisinde son bulur. Asarsu deresinin toplam yağış alanı 26.50 km^2 'dir. Yağış alanı Karadeniz iklim kuşağı içerisinde yer alır.

Asarsu deresi otoyol gşzergahını çok yakından etkileyen ve problemlere neden olan bir deredir. Gşzergahtaki en fazla debili akarsudur. Maksimum debisi son 120 yılda $240 \text{ m}^3/\text{sn}$ 'dir (Astaldi Rapor No.2004, Hidrolojik alışma, 1990).

Tablo 5.4 Geoteknik Özellikler / Deresel Teras Çökelleri

Lokasyon	Sondaj No	Derinlik (mt)	Doğal Birim Hacim Ağırlık γ_n (t/m ³)	Doğal Su İçeriği W _n %	Sınıflama	Üç Eksenli Basınç Deneyi (UU)		SPT		Kesme Deneyi	
						Drenajsız Kohezyon	Sürtünme Açısı	Drenajsız Kohezyon	Sürtünme Açısı	Drenajsız Kohezyon	Sürtünme Açısı
						Cu (kg/cm ²)	Ø °	Cu (kg/cm ²)	Ø °	Cu (kg/cm ²)	Ø °
6+449	AS-152	0,00 - 22,00	2,00	17,60	SC - SM			0,00	40		
6+449	AS-152	22,00 - 28,00	2,00	17,60	SC - SM			0,00	44		
6+449	AS-152	28,00 - 40,00	2,00	17,60	SC - SM			0,00	41		
6+451	AS-151	0,00 - 6,50	2,10	14,90	SC				40		
6+451	AS-151	6,50 - 12,00	2,08	17,00	CL			1,40	0	1,15	29
6+451	AS-151	12,00 - 14,00	2,10	13,80	SM				36		
6+451	AS-151	14,00 - 20,00	2,09	17,00	CL			1,60	0	0,80	29
6+451	AS-151	20,00 - 41,00	2,10	17,40	SC			0,00	43	0,20	36
6+572	AS-154	0,00 - 5,80	2,10	21,30	SC			0,00	35		
6+841	AS-147	0,00 - 2,00	2,10	10,20	SM			0,00	39		
6+841	AS-147	2,00 - 18,00	2,10	10,20	SM			0,00	44		
6+883	AS-159	0,00 - 4,00	2,14	10,30	SM			0,00	36		
6+883	AS-159	4,00 - 25,00	2,14	10,30	SM			0,00	43		
6+928	AS-146	0,00 - 13,50	2,10	12,00	SM - SC			0,00	41		

Tablo 5.5 Geoteknik Özellikler / Güncel Alüvyon Çökelleri

Lokasyon	Sondaj No	Derinlik (mt)	Doğal Birim Hacim Ağırlık γ _n (t/m ³)	Doğal Su İçeriği W _n %	Sınıflama	Üç Eksenli Basınç Deneyi (UU)		SPT		Kesme Deneyi	
						Drenajsız Kohezyon	Sürtünme Açısı	Drenajsız Kohezyon	Sürtünme Açısı	Drenajsız Kohezyon	Sürtünme Açısı
						Cu (kg/cm ²)	Ø °	Cu (kg/cm ²)	Ø °	Cu (kg/cm ²)	Ø °
7+081	AS-144	0,00 - 3,00	2,00	10,00	SC			0,00	36		
7+175	AS-143	0,00 - 3,50	2,00	8,00	GM			0,00	32		
7+175	AS-143	3,50 - 5,50	2,00	22,20	CL						
7+194	AS-163	0,00 - 5,00	2,00	11,20	SC			0,00	38		
7+194	AS-163	5,00 - 7,95	2,00	18,60	CL						
7+431	AS-167	0,00 - 16,50	2,00	11,00	SM - SC				43		
7+549	AS-169	0,00 - 27,00	2,00	15,40	SM - SC			0,00	39		
7+782	AS-172	0,00 - 2,50	2,00	15,50	SC			0,00	39		
7+782	AS-172	2,50 - 3,00	2,21	16,00	CL						
7+782	AS-172	3,00 - 6,00	2,00	12,00	SC			0,00	34		
7+782	AS-172	6,00 - 6,45	2,20	20,10	CL						
7+782	AS-172	6,45 - 9,00	2,00	13,40	SM			0,00	35		
7+782	AS-172	9,00 - 9,45	2,20	18,90	CL						
7+782	AS-172	9,45 - 16,50	2,00	15,00	SL - SM			0,00	39		
7+737	AS-137	0,00 - 7,00	2,00	12,00	SM			0,00	37		
7+737	AS-137	7,00 - 11,00	2,00	12,90	CL						
7+737	AS-137	11,00 - 14,00	2,00	11,70	SM			0,00	43		
7+990	AS-134	0,00 - 9,00	2,00	13,50	SC			0,00	36		
8+038	AS-125	0,00 - 9,00	2,00	9,40	SM - SC			0,00	40		

Otoyol güzergahı boyunca bazı kaynaklar da mevcuttur. Kaynak noktaları kütle hareketlerinin bulunduğu kesimlerde, fay zonları yakınlarında ve birimlerin dokanak sınırları boyunca yoğunluk kazanmıştır. Kaynakların debileri 0.1–1.0 lt/s arasında değişmektedir (Astaldi Rapor No.2004, Hidrolojik Çalışma, 1990).

5.2.6 Asarsu Vadisi Batısının Hidrojeolojisi

Yearltı sularının Asarsu vadisi batısında kazı problemlerine neden olabileceği düşüncesiyle, bu kesimde yapılan 39 adet sondajda, kuyulara piezometre boruları yerleştirilerek değişik tarihlerde yer altı su seviyeleri belirlenmiştir (Tablo 5.6). Bu kuyularda kış aylarıyla yaz ayları arasındaki su seviye farkının 0.5 m – 2.0 m dolayında olduğu belirlenmiştir (Ek-G).

Ayrıca vadi içerisindeki birimlerin hidrojeolojik nitelikleri geçirimsiz-geçirimli olarak incelenmiştir (Tablo 5.7). Vadinin batı kesiminde Yedigöller formasyonu geçirimsiz temeli oluşturur. Elmalık Graniti geçirimsiz özellik taşır, bu birimde yapılan geçirimsizlik deneylerinde 10^{-4} cm/s - 10^{-6} cm/sn arasında değerler elde edilmiştir. Gölcük grubu Fındıcak formasyonu geçirimsiz nitelik taşır. Geçirimsizlik deneylerinde 10^{-4} cm/sn - 10^{-6} cm/s arasında değerler vermiştir. Apalar formasyonu da geçirimsiz niteliktedir ve yapılan deneylerde elde edilen “K” değerleri 10^{-5} cm/sn değerindedir. Deresel teras çökelleri geçirimsiz niteliktedir. K değeri 10^{-4} cm/s - 10^{-6} cm/sn arasında değişir. Güncel alüvyon çökellerinin ise zeminden ilk 5.00 m’si geçirimsiz nitelik taşır ve K değeri 10^{-2} cm/sn - 10^{-3} cm/sn arasındadır. Daha derinlere gidildikçe birim geçirimsiz nitelik kazanır, K değerleri 10^{-5} cm/sn civarındadır. Erguvanlı (1981)’dan alınan ayırık tortul kayaların ortalama geçirimsizlik değerlerine ilişkin tablo Tablo 5.8’de sunulmaktadır.

5.3 Asarsu Vadisindeki Kütle Hareketleri

Yeryüzünde görülen, yeryüzünün şeklini ve görünüşünü değiştiren birçok hareket vardır. Bunların en belirgin, en etkili ve en zararlı olanlarından biri de kütle hareketleridir. Kütle hareketi; hiçbir taşıyıcı etkisi olmaksızın yeryüzünün aşağıya doğru hareket etmesi, şekil ve yer değiştirmesi olarak tanımlanır.

Tablo 5.6 Kısım-2 Viyadük-1 Sondaj Kuyusu / Piezometre Listesi

Ayak No	Sondaj No	Derinlik (m.)	Lokasyon	Piezometre
S1 Sağ	AS-152	42,95	6+449	
S1 Sol	AS-151	41,00	6+451	x
1 Sol	AS-153	37,00	6+491	
1 Sol	AS-120	23,30	6+520	x
2 Sağ	AS-150	39,50	6+530	x
3 Sol	AS-154	39,95	6+572	
3 Sol	AS-121	36,50	6+825	x
10 Sağ	AS-147	39,00	6+641	x
11 Sol	AS-159	39,00	6+883	
12 Sağ	AS-146	38,00	6+928	
13 Sol	AS-160	40,00	6+963	
14 Sağ	AS-145	38,00	7+019	x
14 Sağ	AS-122	41,00	7+025	
15 Sol	AS-161	40,00	7+039	x
16 Sağ	AS-144	40,00	7+081	x
17 Sol	AS-162	41,00	7+118	
17 Sol	AS-127	36,00	7+120	
18 Sol	AS-143	40,00	7+175	x
19 Sağ	AS-163	40,00	7+194	
20 Sol	AS-164	40,00	7+235	
20 Sağ	AS-142	40,00	7+245	x
21 Sol	AS-165	40,00	7+275	
22 Sağ	AS-166	42,00	7+312	
22 Sol	AS-141	31,00	7+328	x
22 Sol	AS-123	33,50	7+345	x
23 Sağ	AS-101	48,00	7+357	x
24 Sol	AS-190	40,50	7+392	
24 Sağ	AS-140	39,00	7+401	x
25 Sol	AS-167	39,00	7+431	
26 Sol	AS-124	40,00	7+472	x
27 Sağ	AS-168	40,00	7+508	
28 Sol	AS-169	40,00	7+549	
29 Sağ	AS-139	39,00	7+599	x
30 Sol	AS-170	39,00	7+627	
31 Sol	AS-191	36,50	7+667	
31 Sağ	AS-138	40,00	7+674	x
32 Sol	AS-171	40,50	7+706	
33 Sol	AS-137	36,00	7+737	x
34 Sağ	AS-172	40,00	7+782	
35 Sağ	AS-136	40,00	7+817	x
36 Sol	AS-173	39,00	7+863	

Tablo 5.6 Kısım-2 Viyadük-1 Sondaj Kuyusu / Piezometre Listesi

Ayak No	Sondaj No	Derinlik (m)	Lokasyon	Piezometre
37 Sağ	AS-135	36,00	7+898	x
38 Sol	AS-174	40,50	7+941	
39 Sağ	AS-134	40,00	7+990	
40 Sol	AS-125	42,00	8+038	x
41 Sağ	AS-176	39,00	8+057	x
42 Sol	AS-177	36,50	8+097	
43 Sol	AS-133	40,50	8+128	x
44 Sağ	AS-178	36,50	8+174	
45 Sol	AS-132	30,00	8+225	x
46 Sağ	AS-179	36,50	8+253	
47 Sağ	AS-131	39,00	8+302	x
48 Sol	AS-180	34,50	8+333	
49 Sağ	AS-130	35,00	8+373	x
50 Sol	AS-126	35,50	8+403	x
51 Sağ	AS-181	35,00	8+449	
52 Sol	AS-182	36,00	8+490	
53 Sol	AS-129	40,00	8+520	x
54 Sağ	AS-183	36,00	8+566	
55 Sağ	AS-128	38,00	8+621	x
56 Sol	AS-184	38,50	8+647	
57 Sağ	AS-185	40,00	8+684	
S2 Sağ	AS-188	45,00	8+762	
S2 Sol	AS-189	74,00	8+803	x

Tablo 5.7 Geçirimlilik Deneyi Sonuçları

Kuyu No	Derinlik (mt)	K (cm/sn)	Litoloji
AS-133	3,00	$4,3 \times 10^{-2}$	Güncel Alüvyon Çökelleri
AS-133	4,50	$> 10^{-6}$	Apalar Fm
AS-133	10,00	$1,7 \times 10^{-4}$	Apalar Fm
AS-133	15,00	$2,27 \times 10^{-5}$	Apalar Fm
AS-134	4,50	$5,5 \times 10^{-3}$	Güncel Alüvyon Çökelleri
AS-134	11,00	$> 10^{-6}$	Apalar Fm
AS-135	5,30	$4,4 \times 10^{-2}$	Güncel Alüvyon Çökelleri
AS-136	5,00	$> 10^{-6}$	Apalar Fm
AS-136	10,50	$> 10^{-6}$	Apalar Fm
AS-136	21,00	$> 10^{-6}$	Apalar Fm
AS-137	4,80	$2,07 \times 10^{-3}$	Güncel Alüvyon Çökelleri
AS-137	10,80	$1,03 \times 10^{-3}$	Yamaç Döküntüsü
AS-139	5,30	$3,32 \times 10^{-3}$	Güncel Alüvyon Çökelleri
AS-139	17,30	$1,54 \times 10^{-1}$	Güncel Alüvyon Çökelleri
AS-140	6,50	$7,45 \times 10^{-3}$	Güncel Alüvyon Çökelleri
AS-140	15,00	$3,92 \times 10^{-6}$	Elmalık Graniti
AS-141	6,00	$2,16 \times 10^{-3}$	Güncel Alüvyon Çökelleri
AS-141	10,00	$> 10^{-6}$	Elmalık Graniti
AS-142	3,40	$5,67 \times 10^{-3}$	Güncel Alüvyon Çökelleri
AS-142	8,30	$5,4 \times 10^{-4}$	Güncel Alüvyon Çökelleri
AS-143	5,40	$> 10^{-6}$	Güncel Alüvyon Çökelleri
AS-143	9,40	$> 10^{-6}$	Fındıcak Fm
AS-146	4,80	$4,66 \times 10^{-5}$	Deresel Teras Çökelleri
AS-146	9,30	$1,01 \times 10^{-4}$	Deresel Teras Çökelleri
AS-146	14,40	$> 10^{-6}$	Fındıcak Fm
AS-147	6,30	$2,6 \times 10^{-4}$	Deresel Teras Çökelleri
AS-147	10,80	$3,2 \times 10^{-4}$	Deresel Teras Çökelleri
AS-147	15,40	$9,7 \times 10^{-6}$	Deresel Teras Çökelleri
AS-151	6,00	$8,8 \times 10^{-6}$	Deresel Teras Çökelleri
AS-151	10,50	$1,68 \times 10^{-6}$	Deresel Teras Çökelleri
AS-151	15,00	$7,1 \times 10^{-6}$	Deresel Teras Çökelleri
AS-154	6,00	$5,9 \times 10^{-6}$	Fındıcak Fm
AS-154	10,50	$1,77 \times 10^{-5}$	Fındıcak Fm
AS-154	15,00	$2,9 \times 10^{-5}$	Fındıcak Fm
AS-159	6,40	$5,57 \times 10^{-6}$	Deresel Teras Çökelleri
AS-159	12,30	$9,0 \times 10^{-5}$	Deresel Teras Çökelleri
AS-159	16,90	$4,5 \times 10^{-6}$	Deresel Teras Çökelleri
AS-160	5,00	$1,81 \times 10^{-5}$	Fındıcak Fm
AS-160	10,50	$> 10^{-6}$	Fındıcak Fm
AS-160	15,00	$1,8 \times 10^{-5}$	Fındıcak Fm

Tablo 5.7 Geçirimlilik Deneyi Sonuçları

Kuyu No	Derinlik (mt)	K (cm/sn)	Litoloji
AS-162	4,90	$1,2 \times 10^{-3}$	Güncel Alüvyon Çökelleri
AS-162	9,5	$1,2 \times 10^{-4}$	Fındıcak Fm
AS-162	15,5	$2,0 \times 10^{-4}$	Fındıcak Fm
AS-163	6,4	$1,78 \times 10^{-5}$	Güncel Alüvyon Çökelleri
AS-163	10,9	$2,4 \times 10^{-5}$	Fındıcak Fm
AS-164	5,6	$5,59 \times 10^{-5}$	Güncel Alüvyon Çökelleri
AS-164	9,5	$4,97 \times 10^{-3}$	Güncel Alüvyon Çökelleri
AS-164	14,9	$6,5 \times 10^{-4}$	Elmalık Graniti
AS-165	6	$6,6 \times 10^{-6}$	Elmalık Graniti
AS-167	6	$1,33 \times 10^{-2}$	Güncel Alüvyon Çökelleri
AS-167	12	$3,56 \times 10^{-3}$	Güncel Alüvyon Çökelleri
AS-170	6	$3,98 \times 10^{-6}$	Güncel Alüvyon Çökelleri
AS-170	12	$2,12 \times 10^{-4}$	Güncel Alüvyon Çökelleri
AS-170	16,5	$4,43 \times 10^{-4}$	Güncel Alüvyon Çökelleri
AS-170	28,5	$7,96 \times 10^{-6}$	Güncel Alüvyon Çökelleri
AS-172	6,4	$1,13 \times 10^{-5}$	Güncel Alüvyon Çökelleri
AS-172	12,4	$1,65 \times 10^{-5}$	Güncel Alüvyon Çökelleri
AS-172	16,9	$1,13 \times 10^{-5}$	Güncel Alüvyon Çökelleri
AS-173	6,4	$1,65 \times 10^{-5}$	Güncel Alüvyon Çökelleri
AS-173	12,4	$1,13 \times 10^{-5}$	Apalar Fm
AS-174	6	$3,5 \times 10^{-5}$	Güncel Alüvyon Çökelleri
AS-174	10,5	$7,1 \times 10^{-5}$	Güncel Alüvyon Çökelleri
AS-174	16	$7,1 \times 10^{-5}$	Apalar Fm
AS-176	6	$3,23 \times 10^{-3}$	Güncel Alüvyon Çökelleri
AS-177	6,4	$1,13 \times 10^{-5}$	Güncel Alüvyon Çökelleri
AS-180	7,5	$5,8 \times 10^{-4}$	Apalar Fm
AS-181	4,5	$6,2 \times 10^{-3}$	Apalar Fm

Tablo 5.8 Ayırık Tortul Kayaçların Ortalama Geçirimsizlik Değerleri

Zemin	K (cm/sn)	Özellik
Çakıl	>1	
Kaba Kum	$1 - 10^{-1}$	Pompajla su alınabilir
Orta Kum	$10^{-1} - 10^{-2}$	
İnce Kum	$10^{-2} - 10^{-3}$	
Siltli Kum	$10^{-3} - 10^{-4}$	Pompajla su alma çok az
Siltli Kil	$10^{-4} - 10^{-5}$	
Sıkı Dolgu	$10^{-6} - 10^{-8}$	Pratik olarak geçirimsiz
Bozulmamış Kil	$10^{-7} - 10^{-9}$	

Bu tür olaylar, olayın meydana geldiği yere, hareket eden malzemenin türüne, hızına, şekline, hareket yüzeyinin olup olmasına ve hareket yüzeyinin şekline göre özel isimler alır. Bu parametrelere göre kütle hareketleri ayrıntılı olarak Düşme, Akma, Kayma, Devrilme, Yayılma v.b. isimler alır. Kütle hareketlerinin sınıflandırılmasında kullanılan parametrelerin en önemlileri aşağıda listelenmiştir:

- Hareketin türü, miktarı ve hızı;
- Hareket eden malzemenin türü, dizilişi, yaşı;
- Hareket eden kütlenin şekli;
- Su miktarı;
- Hareket edenle alttaki temel arasındaki bağıntı;
- Hareketin nedenleri;
- Kohezyon “c” ve iç sürtünme açısı “Ø” karakteristikleri;

Varnes (1978)’in, kütle hareketlerinin olduğu malzeme türü ve hareket şekline göre yaptığı sınıflandırma Tablo 5.9’da sunulmuştur. Düşme ve akmada, malzeme serbest olarak hareket etmektedir. Kaymada ise hareket bir düzlem ya da bir yüzey üzerinde meydana gelmektedir.

Tablo 5.9 K t le Hareketlerinin Genel Sınıflandırılması ve Türleri
(Varnes, 1978)

Malzeme Hareket Türü		Ana Kaya	Zemin	
			çoğunlukla kaba taneli	çoğunlukla ince taneli
D��me		Kaya d��mesi	Moloz d��mesi	Toprak d��mesi
Devrilme		Kaya devrilmesi	Moloz devrilmesi	Toprak devrilmesi
Kayma	D��nel	Kaya kayması (heyelanı)	Moloz kayması (heyelanı)	Toprak kayması (heyelanı)
	D��zlemsel	Kaya kayması	Moloz kayması	Toprak kayması
Akma		Kaya akması	Moloz akması	Toprak akması
Yanal Yayılma		Kaya yayılması	Moloz yayılması	Toprak yayılması
Karmaşık		Bir veya daha fazla ana hareket türünün birarada olması		

Toprak, ta  veya bunların karışımından oluşan bir zeminin ya da çeşitli kayaçların, bir yüzey üzerinde, a a ıya ve dışarıya doğru hissedilebilir bir şekilde hareket etmesine “Heyelan” denir. Hareketin hızı, yamaç eğimi ve su miktarı ile orantılıdır.

Heyelanlara neden olan temel koşullar jeolojik, jeomorfolojik, hidrojeolojik ve iklimseldir. Bugüne kadar yapılan çeşitli heyelan çalışmalarında araştırılan parametreler, önem sıralarına göre; e im, litoloji, arazi kullanım potansiyeli, ana faylara olan uzaklık, topoğrafik yükseklik, yamaç e im yönü ve yüzey drenaj a ı olarak belirlenmiştir.

Yamaçların duraylılı ı üzerinde önemli bir etkiye sahip olan yeraltısuyu özellikleri ise, bölgesel ölçekte veriye her zaman ulaşılamaması ve yeraltı suyu özelliklerinin mevsimsel de i imlere açık olması nedeniyle diğerleri kadar ele alınamamıştır (G k eo lu, C. ve Ercano lu, M., 2001).

Heyelanlarda hareket dairesel bir yüzey boyuncadır ve de i me sürekli değildir, zaman zaman gerçekleşir.

5.3.1 Güney ve Kuzey Yamaçlardaki Kütle Hareketleri

Asarsu Vadisi'nin Viyadük-2, Viyadük-3 ve Viyadük-4'ü kapsayan, km 11+750 – km 15+220 arasındaki kısmında dizayn ve inşaat aşamalarını etkileyen en önemli özelliklerden biri yamaç duraylılığıdır. Duraylılık, başlangıçta sıralanan birçok etkene bağlı olmakla birlikte, çalışma alanında, esas olarak 4 ana başlık altında toplanabilir:

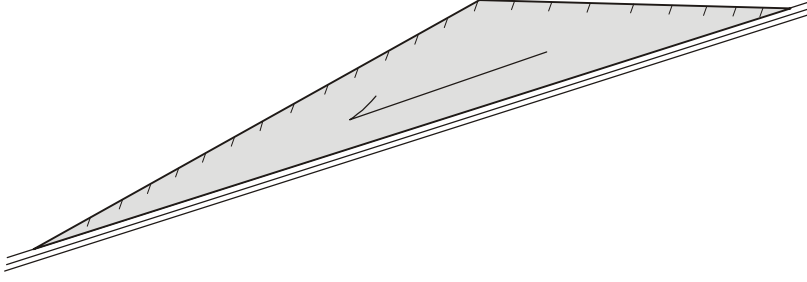
- Topoğrafya; yamaç eğimi ve yamaç yüksekliği,
- Jeoloji; malzeme yapısı,
- Drenaj ağı ve yeraltısuyu,
- Sismik aktivite; deprem,

Vadideki kütle hareketleri, aktif kütle hareketleri, duraylı kütle hareketleri ve potansiyel kayma alanları olarak üç ayrı grupta ele alınmaktadır. Aktif kütle hareketlerinin kayma düzlemleri 10-15 m. derinliktedir. Bu alanlarda kollüvyal çökeller bulunmaktadır. Duraylı kütleler önceden kaymış ve şu an duraylılık kazanmış görülen alanlardır. Potansiyel kayma alanları ise kritik dengenin otoyol çalışması ile bozulduğu anda, kütle hareketlerinin etkili olabileceği bölgelerdir (Dalgıç, 1994).

Vaedi boyunca kuzey ve güney yamaçlarda kayma ve akma hareketleri gözlenmektedir. Topoğrafik ve jeolojik özelliklere göre, vadinin kuzey ve güney yamaçları için farklı yenilme ve kayma karakteristikleri belirlenebilmektedir.

5.3.1.1 Güney Yamaçlardaki Kütle Hareketleri

Vadinin güney yamaçlarında duraylılık açısından jeolojik koşullar etkilidir ve oldukça çatlaklı ve ayrışmaya uğramış metamorfik kayalar yer alır. Anakaya, değişen kalınlıklardaki (maksimum 5 m.) moloz ve kollüvyon çökelleri ile örtülüdür. Tipik kütle hareketi ise, Moloz Kayması olarak tanımlanır. Moloz kayması, rezidüel zemin ve kayaç parçalarından oluşur. Bu birimler, ayrışmış bir kaya yüzeyi ya da moloz içerisindeki düşük dayanımlı, düzlemsel bir yüzey boyunca hareket ederler (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 Tipik düzlemsel kayma kesiti

Kazı ya da aşınma nedeniyle, asılı durumda bulunan kütlenin ağırlığı, içsel sürtünmeden fazla olduğu andan itibaren yamaç harekete başlar ve içsel sürtünme en aza düşer. Hareket ettirici etken, yerçekimi kuvvetidir. Kütlenin kaymamasını içsel sürtünme direnci (yapışma direnci) önler. Bu denge hali, tutucu iki kuvvet olan yapışma ve kesme direncinin yağış dolayısı ile azalması nedeniyle bozulmuş ve kayma gerçekleşmiştir. Vadinin güney yamaçlarındaki yenilmelerin yoğun yağmurlar sonrasında, morfolojik koşullara bağlı olarak, aniden veya dereceli olarak gerçekleştiği rapor edilmiştir. Yenilmenin başlangıç aşaması tespit edilememiş ve olası gerilme çatlakları izlenmemiştir (Astaldi Rapor No.45.110/2D/R/GE/001, 2001). Asarsu vadisinin güneyindeki bu kütle hareketleri İkizoluk formasyonu ve Yedigöller formasyonu içerisinde oluşmaktadır (Şekil 5.3). Kayma düzlemleri 10-15 m derinliktedir. Oluştugu yükseltiler 700 m dolayındadır. Yamaç eğimi yüksek olan bölgelerde gelişmişlerdir (Şekil I.5).

Dalgıç, 1994'e göre, bu hareketlerin kaynağı doğrusal atımlı faylardır. Kil mineral yapısındaki zayıf kimyasal bağlar, dik topoğrafya yüzeyleri ve hava koşulları da etkili olmuştur.

5.3.1.2 Kuzey Yamaçlardaki Kütle Hareketleri

Vadinin kuzey yamaçlarındaki kütle hareketleri, güneyindekilerden farklıdır. Genel olarak bunlar da moloz kaymalarına benzer bir yapı gösterse de, geniş alanlar kaplamazlar ve kolüvyon ve/veya moloz miktarı fazla değildir (Şekil I.6). Bu duruma istisna teşkil eden ise, “eski heyelan alanı” (Astaldi Rapor No.45.110/2D/R/GE/001, 2001) olarak adlandırılan Kom Heyelanı'dır (Şekil 5.4).



Şekil 5.3 Asarsu vadisi güney yamaçta gözlenen kayma hareketi (km 10+100)

Kom Heyelanı; Asarsu vadisinin kuzey yamaçlarında, Otoyol km 12+200 - km 14+100 arasında, Asarsu vadisinin Kom vadisi ile kesiştiği yerde konumlanmış geniş, rotasyonel bir paleoheyelandır (Ek-D). Otoyol güzergahı, km 12+300 – km 13+800 arasında Kom Heyelanı topuğundan geçer. Kom heyelanı, bölgedeki neotektonizmaya bağlı olarak oluşan dik yamaçlardaki ayrılmış ve zayıf-çok zayıf kayaçların kayması sonucu oluşmuştur. Kayma hareketi, Yedigöller formasyonu'na ait amfibolit, metagranit ve metadiyorit birimleri içerisinde gerçekleşmiştir. Heyelan, kuzey-güney doğrultuda 1.200 m boyunda ve doğu-batı doğrultuda 1.600 m genişliğindedir. Kaymanın yaklaşık yüzölçümü 1.900.000 m²'dir. Heyelan kütlesi; moloz kayması ve makaslanmış anakayadan oluşur.

Yüzey morfolojisi Asarsu vadisinin doğu-batı yönünde uzandığını gösterir. Yaklaşık 2–3 milyon m³ malzemeden oluşan rotasyonel Kom heyelanı, Kom vadisinin kuzeydoğusunda konumlanmış olup, Asarsu nehrini güneye doğru öteleyerek belirgin doğrusallığı bozar. Kom Vadisinde, yamaçlar yaklaşık 80 m yüksekliğinde olup, 45 derecelik açılara sahiptir. Heyelanın gerçekleştiği yamaç, 900 m ile 550 m kotları arasında yer alır.



Şekil 5.4 Kom heyelanı taç kısmı

Heyelan kompleks bir yapıya sahiptir ve eski bir heyelan kütlesi (Qlso), heyelan topuğundaki moloz kaymalarının yeniden aktif hale gelmesi sonucu oluşan daha genç ve küçük moloz kaymaları (Qls) ve akmalar içerir (Barka ve diğ, 1996).

Kom Heyelanı'nın topuğu, güncel dere yatağı kotunda ya da çok az aşağı veya yukarısında belirmektedir (Ek-E). Vadinin güney yamacının alt taraflarında açığa çıkan anakaya sağlam ve heyelana uğramamış olarak gözükmemektedir. Vadinin kuzey yamacının alt taraflarında da bazı izole olmuş, sağlam anakaya mostralarına rastlanabilmekle birlikte, kuzey vadide, ana heyelan kütlesi/zonu boyunca (km 12+500 – km 13+700) başka bir sağlam anakaya mostrası gözlenememektedir. Bu da; kayma düzleminin dere yatağına veya daha altına kadar uzandığını göstermektedir.

Ek-E'de sunulan enine kesit lokasyonunda, heyelan, 150 metreyi aşkın bir kalınlığa sahip olarak belirmektedir. Heyelan alanında 1990-1991 ve 1997-2000 yıllarında ve Ek-D'de yerleri gösterilen 11 adet sondaj yapılmıştır. 1990-1991 yıllarında yapılan AS-58 ve AS-60 no'lu sondajlarda ana kayma düzlemi kesilmiştir. Araştırma sondajı AS-58 136, AS-60 no'lu araştırma sondajı ise 145 m derinliğe sahiptir. Bunlar vadide yapılan en derin sondajlardır.

Her iki kuyudan elde edilen karotlara göre ilk 3-4 m’de az plastik-plastik, kahverengi kumlu kilden oluşan yamaç molozlarından sonra orta derecede ayrıışmış, orta sert, çok kırıklı amfibolit, metadiyorit, metagranit birimleri bulunmaktadır.

Ana kayma düzlemine, AS-58 no’lu sondajda, 110 m’de girilmiş ve kuyu 136 m’ye kadar devam etmiştir. AS-60’da ise ana kayma düzlemine 116.50 m’de girilmiş ve sondaj kayma zonu içerisinde sonlandırılmıştır. Kayma zonundaki litolojiler; çok ayrıışmış, yumuşak-az sert ve ezik amfibolit, metagranit, metadiyorit parçaları ve zemin özelliğindeki kumlu-siltli-killi birimlerdir. Buna göre, heyelanın kuzey ve güneyinde yer alan anakaya mostralarının durumu, AS-58 ve AS-60 no’lu sondajlar ve topoğrafik profil baz alınarak, Ek-E’de sunulan heyelan geometrisi belirlenmiştir (Barka ve Lettis, 2000).

Kom heyelanı geometrisi ve ana kayma kütlesinin (Qlso) konsolide olmuş yapısı, bütün kayma kütlesinin duraylı bir konfigürasyona eriştiği ve yeniden bir aktivasyon göstermeyeceği yönünde yorumlara ulaşılmasını sağlar (Barka ve Lettis, 2000).

Dalgıç (1994)’de yamaç duraylılığını kontrol etmek amacıyla AS-60 no’lu sondaja inklinometre borusu yerleştirildiği ve araştırmanın yapıldığı tarihe kadar herhangi bir kayma hareketi gözlenmediği belirtilmiştir. Ancak bu araştırma, otoyol güzergahı için heyelan topuğundaki yarmaların açılmasından daha önce gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Asarsu deresi de topukta erozyona yol açmaktadır. 2000 yılında yapılan gözlemlerde, topuktaki daha güncel kaymalar duraysız gözükmekte ve gelecekte bazı hareketlere yol açabileceği şüphesini uyandırmaktadır. Ek-D’deki plan haritası Kom Heyelanı’nın topuk bölgesinde, km 12+200 – km 13+100 ve km 13+600 – km 14+100 arasındaki aktif heyelanların lokasyon ve geometrilerini göstermektedir. Bu kaymalar dere yatağına kadar uzanırlar.

Heyelanın topuğundaki bu aktif kayma zonları otoyol için önemli potansiyel hasar alanlarına işaret etmektedir. Yoğun yağmur, sel, sarsıntı ve/veya inşaat kazıları nedeniyle yeniden harekete geçebilirler veya hareket hızları artabilir.

Kom Heyelanı’nda yenilmenin, tekil, ani bir olay sonucu olduğuna inanılmaktadır (Barka ve Lettis, 2000). Bu olayın, bölgenin depremselliği de göz önüne alındığında, kuvvetli bir yer sarsıntısı olma olasılığı fazladır.

Heyelanın kesin yaşı belirlenememiştir. Ancak heyelanın doğusunda bulunan ve yapılan araştırmalar ile yaşları en az 20.000 yıl olarak belirlenen heyelan barajı gölü çökelleri (Q_{lsl}) ve alüvyal teras çökelleri (Q_t) heyelandan etkilenmemişlerdir. Buna göre heyelan daha yaşlı olmalıdır. Bölgesel çalışmalar ve KAFZ ile ilgili araştırmalar, heyelan alt yaşının Pliyosen'e kadar inebileceğini göstermektedir (Barka ve Lettis, 2000). Heyelan çeşitli nedenler veya bunların kombinasyonları nedeniyle oluşmuş olabilir. Bunlar:

- Ayrışmış, kil içeriği yüksek birimler,
- Vadide su yükselmesi ve suyun kaldırma kuvvetine bağlı olarak topuklarda zayıflama,
- Kil açısından zengin birimlerin bir deprem tarafından etkilenmesi,
- Yoğun yağmur ve kar yağışı,

Ek-D ve Ek-E'de gösterilen araştırma sondajlarından alınan numuneler üzerinde yapılan laboratuvar testleri ve yeraltısuyu ölçüm sonuçları Tablo 5.10'da sunulmaktadır.

5.3.2 Asarsu Vadisi Civarındaki Diğer Kütle Hareketleri

Otoyol geçişinin Asarsu vadisi geçişinde yer alan kütle hareketlerinden biri de lokasyonu Ek-F'de gösterilen Bülbülderesi Heyelanı'dır. Bülbülderesi Heyelanı, 4–5 km uzunluğunda, 2-3 km genişliğinde, bölgedeki en büyük heyelanlardan birisidir. Heyelan, Paleozoyik kayalar ile üzerindeki tutturulmamış malzemenin dokanağında meydana gelmektedir (Dalgıç, 1994).

Bölgedeki büyük kütle hareketlerinden bir diğeri de Bakacak Heyelanı olarak adlandırılmıştır. Bakacak Heyelanı, 4-5 km uzunluğunda ve 1.5 km genişliğindedir. Heyelanın D-100 karayoluna yakın olan kısımları daha çok küçük aktif heyelan özelliğindedir. Bakacak Heyelanı'nın kayma düzlemi, bu çalışmada Gölcük Grubu olarak kabul edilen Fındıcak Formasyonu (K_{tf}) ile Apalar Formasyonu (T_a) formasyonunun altında bulunan Paleozoyik yaşlı birimlerin dokanağı boyunca sınırlandırılmıştır (Dalgıç, 1994). Kayma düzlemi yaklaşık 100-150 m derinliktedir ve birden fazladır.

Tablo 5.10 Kom Heyelanı Sondaj Numuneleri Laboratuar Testleri ve Yeraltısuyu Ölçüm Sonuçları

Sondaj No	Sondaj Derinliği (m.)	Numunenin alındığı Derinlik (m.)	Doğal Su içeriği W _n %	Doğal Birim Hacim Ağırlık γ _n (kN/m ³)	Atterberg Limitleri			Elek Analizi				Sınıflama	Yeraltısuyu Seviyesi (m.)
					LL	PL	PI	No:4	No:10	No:40	No:200		
M236	80,00	27,50 - 27,80	8,60	2,27	20,10	13,50	6,60	97,00	91,00	67,00	37,00	SM	-
M236	80,00	41,00 - 41,40	7,10	2,40	20,80	14,80	6,00	98,00	94,00	76,00	51,00	CL - ML	-
M43	71,00	3,00 - 5,00	24,10		22,80	17,50	5,30	93,50	89,30	76,80	55,90	CL - ML	30,00
M55	20,00	6,00 - 6,45	12,30		21,70	15,00	6,70	100,00	99,00	89,00	59,00	CL - ML	-
M55	20,00	21,50 - 21,95	20,40		23,80	14,20	9,60	93,00	88,00	66,00	44,00	SC	-
AS-60	145,00	28,50 - 28,80	14,60		23,70	15,20	8,50	62,00	51,00	28,00	17,00	SC	75,00
AS-60	145,00	39,50 - 40,00	10,10		-	-	-	83,00	71,00	36,00	16,00	SM	75,00
AS-60	145,00	47,80 - 48,00	7,50		-	-	-	68,00	58,00	31,00	16,00	SM	75,00
AS-60	145,00	56,60 - 56,80	9,30		-	-	-	89,00	70,00	35,00	15,00	SM	75,00
AS-60	145,00	117,00 - 117,70	8,10		-	-	-	93,00	84,00	60,00	33,00	SM	75,00
AS-60	145,00	119,00 - 119,20	14,80		26,60	18,00	9,60	100,00	95,00	80,00	40,00	CL	75,00
AS-60	145,00	121,00 - 121,50	11,10		25,30	12,90	12,40	89,00	81,00	64,00	44,00	SC	75,00
AS-58	136,00												24,80
M57	22,00												3,00
M58	20,00												5,00
M77	99,00												-
M235	20,00												-

Dalgıç (1994)'e göre, bu kesimdeki kütle hareketlerinin oluş nedenleri, Fındıcak (Gölcük Grubu) ve Apalar Formasyonlarının heterojen bir litolojiye sahip olmaları, yakın çevrede meydana gelen depremler, yağışlı iklim, D-100 karayolunda yol yapımı için açılan yarmalar ve yerleşim alanlarındaki bitki örtüsünün tarım ve yapılaşma amacıyla yok edilmesidir.

Bakacak Heyelanı, Asarsu vadisi içerisinde yer alan ve Viyadük-2, Viyadük-3 ve Viyadük-4 için tehlike oluşturmamasına rağmen, bu kısmın hemen batısında yer alan ve bu çalışmaya konu olan Viyadük-1 için önemlidir. 12 Kasım 1999 tarihinde bölgede meydana gelen deprem, D-100 Karayolu'nda hasara yol açmasına rağmen, viyadük ayakları için herhangi bir sorun oluşturmamıştır (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 Bakacak heyelanı

5.4 Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Depremsellik

Kuzey Anadolu Fay zonu, Türkiye'yi bir uçtan bir uca kesen, depremselliği bakımından ülkemizin ve dünyanın önemli tektonik yapılarından biridir. İnceleme alanında, neotektonik dönemde gelişen faylar Kuzey Anadolu Fay Zonu ile ilişkilidir.

Şengör (1981), Kuzey Anadolu Fay Zonunu bir transform fay olarak kabul etmekte ve Burdigaliyen'de Arap levhası ile Avrasya levhası arasında sıkışarak kalınlaşan Anadolu levhasının, bu kompresif stresi daha fazla özümseyemeyeceği bir kalınlığa ulaşınca, sıkışmayı karşılayabilmek için önünde doğal bir engel olmaması nedeniyle batıya doğru kaçmakla giderebildiğini ve batıya doğru olan bu hareketin büyük kısmıyla, levha sınırı boyunca gelişerek, Kuzey Anadolu Fay Zonunun oluştuğunu belirtmiştir. KAFZ'nin doğrultu atımlı sağ yönlü bir fay zone olduğu, ilk kez 27 Aralık 1939 Erzincan depreminden ve onu izleyen 1942, 1943, 1944 depremlerinden sonra anlaşılmıştır (Ketin, 1976). Sağ yönlü , doğrultu atımlı fay zoneunun boyu için 1600 km (Ketin, 1976) , 1500 km. (Barka ve diğ., 1988) gibi farklı değerler verilmiştir. KAFZ, İnceleme alanında, Gerede-Yeniçağ üzerinden Bolu'ya doğru uzanmaktadır.

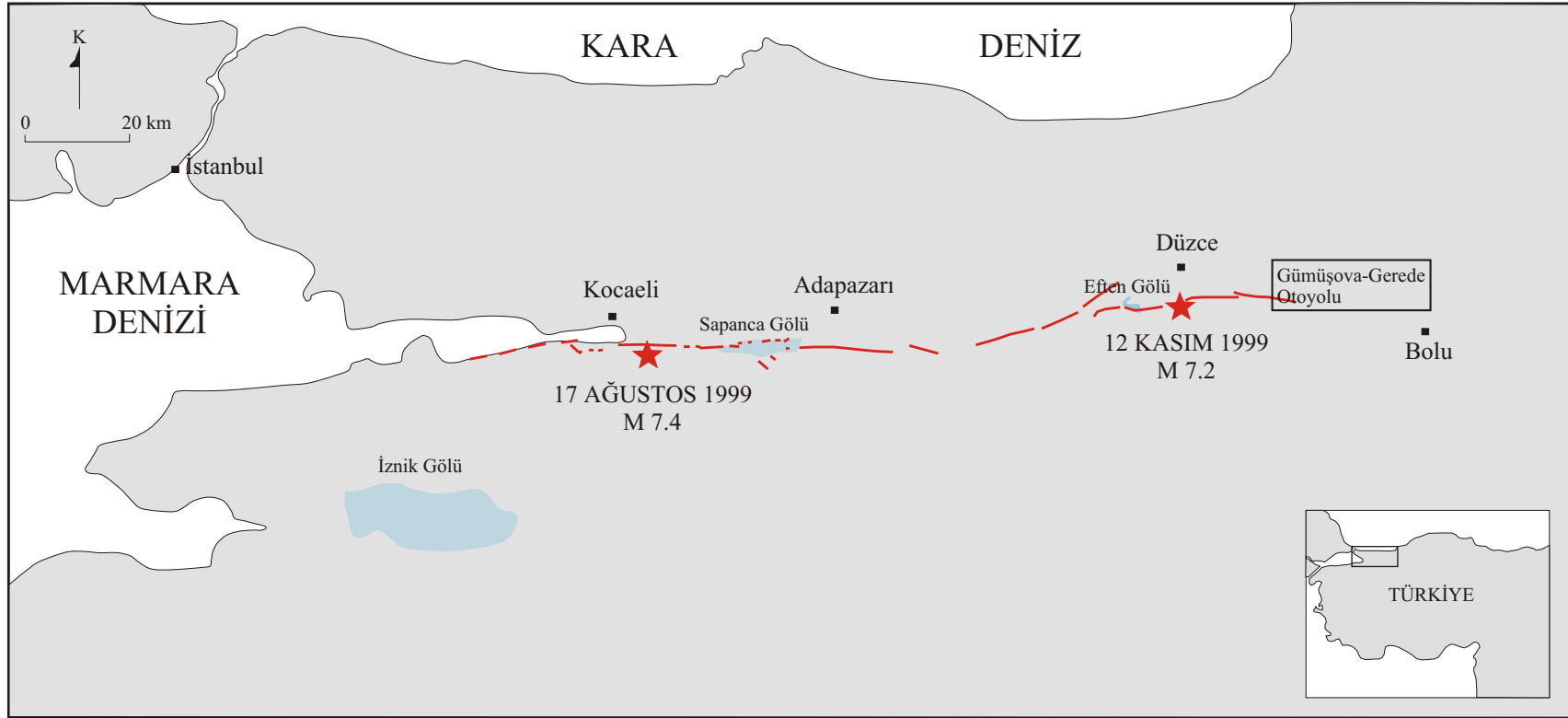
Fayın aktif kolu Bolu'nun güney batısında sıkışma oluşturacak şekilde 11° doğrultu değiştirmekte ve Abant gölünün kuzeyinden geçip daha batıda Mudurnu vadisi içine girmektedir (Barka, 1993). Bolu'nun batısında ise ana faydan, inceleme alanındaki Bakacak fayı ve Düzce fayı ayrılmaktadır. Bu faylar arasında büyük ölçekte heyelanlar yer almaktadır.

5.4.1 Depremsellik

İnceleme alanı, bölgede Kuzey Anadolu Fayı'nın iki ana kolu bulunması dolayısıyla depremsellik açısından oldukça yoğun bir bölgedir.

Düzce Fayı'nın 1999 depremi öncesinde de yüzey kırığı oluşturduğu ve önceki depremlerdeki yer değiştirmenin aynı lokasyonda benzer atım tip ve miktarları oluşturduğu gözlenmiştir. Bölgede 1999 depremi öncesindeki son deprem yaklaşık 300 yıl önce olmuştur. Deprem sıklığı en az 300, en çok 800 yıldır (Barka ve Lettis, 2000).

İnceleme alanında, yine KAF üzerinde meydana gelen 17 Ağustos 1999 İzmit depreminden yaklaşık 3 ay sonra, 12 Kasım 1999'da magnitüd'ü 7.2 olan başka bir deprem gerçekleşmiştir (Şekil 5.6).



- ★ Deprem Merkez Üssü
- Ağustos ve Kasım 1999 Depremleri Yüzey Yırıtığı

Şekil 5.6 Çalışma alanı, 12 Kasım 1999 depremi kırığı, merkez üssü ve 17 Ağustos 1999 depremi merkez üssünü gösterir harita (Lettis, 2000)

Bu iki deprem, bu yüzyılda KAF'ı kıran birçok depremin son iki örneğidir. Düzce Depremi olarak anılan bu son deprem yaklaşık 1000 kişinin ölümüne ve 5000 kişinin yaralanmasına yol açmıştır.

Bu teze konu olan Gümüşova–Gerede Otoyolu Kısım–2 Viyadük–1, 12 Kasım 1999 depreminin etkilediği alan içerisinde, Bolu ile Kaynaşlı yer ivmesi ölçüm istasyonları arasında konumlanmıştır.

5.5 Gümüşova-Gerede Otoyolu Viyadük-1 Güzergahının Mühendislik Jeolojisi Açısından Değerlendirilmesi

Anadolu Otoyolu Gümüşova-Gerede Kısımı Asarsu Vadisi Geçişi Viyadük-1 kesimi güzergahı boyunca yaklaşık 300 m. genişliğinde bir inceleme bandı içinde, yüzey jeolojisi çalışmaları yapılmış ve bölgede daha önceki yıllarda yapılmış olan sondaj çalışmalarından elde edilen bilgiler kullanılarak güzergahın mühendislik jeolojisi haritası üretilmiştir.

Ön proje aşamasında, km 6+449'den km 8+803'e kadar, 2.354 m. uzunluğundaki viyadük ile geçilmesi kararlaştırılan güzergahta, vadi içinde yeralan birimlerin taşıma güçlerinin azlığı, temellere etkiyeceği hesaplanan deprem yüklerinin büyüklüğü ve vadi içerisinde yer alan Asarsu deresinin yüksek debili ve düzensiz yapısı nedeniyle kazıklı temeller gerekli görülmüştür. Buna göre, her bir viyadük ayak temeli altına 12 adet, 1.800 mm. çapında yerinde dökme beton kazık yapılmıştır.

Güzergahın km 6+449 - km 6+950 arasındaki ilk 500 m.'si, çakıllı killi kum ve altındaki kiltası-kireçtaşı-kumtaşı ardalanması üzerinde yer alır. Başlangıç kısmında yapılan sondajlarda kum çökelleri kalınlığının 40.00 m. dolayında olduğu belirlenmiştir. Çökel kalınlığı, güzergahın bu kesiminde erozyon nedeniyle değişkendir. Km 6+530'da yer alan vadi tabanında çakıllı killi kum çökellerinin kalınlığı 1-2 m.'ye kadar düşer. Güzergahın bu kesiminde, kum çökelleri sıkı-çok sıkı ve geçirimsiz, ayrısmadan dolayı kiltası-kireçtaşı-kumtaşı parçalarının killi matriks içerisinde gözlendiği çökel çok katı ve geçirimsizdir. Yapılan sondajlarda, kiltası-kireçtaşı-kumtaşı niteliğindeki kayacın ayrılmış ve ufalanarak ilk direncini yitirmiş olduğu gözlenir. Sondajlarda RQD kaya kalitesi sınıflandırması için uygun örnek alınamaması bu görüşü desteklemektedir.

Kum çökellerinden elde edilen kohezyon değerleri sert-çok sert zemin türüne karşılık gelmektedir (Hoek, 1971). Bieniawsky (1975)'in tek eksenli basınç direncine göre yaptığı sınıflandırmaya göre, kiltası-kireçtaşı-kumtaşı birimi az dirençlidir.

Erguvanlı (1981)'in yaptığı sınıflandırmaya göre ise, üstteki ayrık zemin için yüklenmesi uygun basınç yaklaşık 2.00 kg/cm² iken, alttaki ayrılmış ve çatlaklı kiltası-kireçtaşı-kumtaşı birimi için yüklenmesi uygun basınç yaklaşık 5.00-7.00 kg/cm² arasındadır.

Km 6+570'den km 6+900'e kadar, topoğrafya gittikçe alçalır ve güzergah, km 6+950'den itibaren Asarsu deresi yatağını izlemeye başlar. Bu kesimde yeraltı su seviyesi zemin seviyesinden 3.00 metre aşağıdadır.

Km 6+950'den itibaren, km 7+100'e kadar temeller, kalınlığı 2.00 m. ile 5.00 m. arasında değişen çakıllı killi kum (SC), çakıllı siltli kum (SM) ve çakıllı kil (CL) çökelleri ve bunun altındaki kiltası-kireçtaşı-kumtaşı ardalanması içerisinde yer alırlar. Güncel dere çökellerinin altında yer alan ve vadinin kuzey yamaçlarında yüzeyleyen kiltası-kireçtaşı-kumtaşı'na ait tabakalar K30B 21GB ve K35B 16GB doğrultu ve eğimlerine sahiptir. Güzergahın bu kesiminde, dere çökelleri, sıkı ve geçirimli, ayrışmadan dolayı kiltası-kireçtaşı-kumtaşı parçalarının killi matriks içerisinde gözlendiği çökel ise çok katı ve geçirimsizdir. Çakıllı kum çökellerinin üst seviyelerinde ölçülen yüksek geçirimsizlik değerleri ve yüzeye yakın yeraltı su düzeyi mevsimlere bağlı olarak sorunlar çıkarabilecektir. Erguvanlı (1981)'e göre çakıllı kum birimi için yüklenmesi uygun basınç 3.00 kg/cm²'dir. Bieniawsky (1975) sınıflandırmasına göre, güzergahın bu kesimindeki kiltası-kireçtaşı-kumtaşı birimi az-orta dirençlidir. Aynı birim içerisinde yapılan sondajda 8.00 – 10.00'uncu m.'ler arası maksimum RQD değeri 23% olarak belirlenmiştir. Buna göre, kaya kalitesi çok kötü'dür (Erguvanlı, 1981). Km 7+100 - km 7+200 arasında, çakıllı siltli kum çökellerinin kalınlığı 5.00 – 9.00 m. arasında değişir. Çökellerin yüzeye yakın bölümleri geçirimlidir.

Km 7+200 civarındaki temeller, kalınlığı 13.50 ile 30.00 m. arasında değişen çakıllı killi kum (SC), çakıllı siltli kum (SM) ve çakıllı kil (CL) çökelleri ve granit birimleri üzerinde bulunurlar. Granit birimi tümüyle ayrılmıştır ve granit parçaları içeren sıkı, geçirimsiz killi kum olarak değerlendirilir. Erguvanlı (1981)'e göre dere çökeli birimi ve granit birimi için yüklenmesi uygun basınç 3.00 kg/cm^2 'dir.

Km 7+650 civarında, güzergahın kuzeyinde granit ile orta katı siltli kumlu killi matriks içerisindeki kiltası-silttaşı-şeyl parçalarından oluşan birim arasında tektonik bir dokanak oluşturan sağ yanal doğrultu atımlı bir fay yer alır. Barka ve Lettis (2000) tarafından yapılan araştırmalarda bu fay, pasif olarak nitelendirilmiştir.

Fay civarında, granit ve kiltası-silttaşı-şeyl ardalanması içerisinde aşırı kırıklı ve ezik zonlar gelişmiştir. Bazı çatlakların kuvars ile doldurulmuş olması yeraltında geçirimsiz bir perdenin oluşmasına ve dolayısıyla bu perdenin iki tarafında farklı hidrostatik basınçlı bölgelerin oluşmasına yol açabilecektir. Ayrıca fay zonunun kille doldurulmuş, yani geçirimsiz olması nedeniyle de hidrostatik basınç oluşabilecektir. Kohezyon değerlerine göre Hoek, (1971) tarafından yapılan sınıflandırma uyarınca, kiltası-silttaşı-şeyl birimi çok sert zemin sınıfındadır. Birim için yüklenmesi uygun basınç değeri ise yaklaşık 0.80 kg/cm^2 'dir.

Km 7+650'den km 8+480'e kadar güzergah, kalınlığı 7.00 ile 16.00 m. arasında değişen sıkı ve geçirimli siltli kum ve altında fay zonu içerisinde kalmış olması nedeniyle ezilmiş ve karışmış kiltası-silttaşı-şeyl ardalanması üzerinde yer alır. Bu formasyonun üst kesimlerindeki ayrışma sonucunda, malzeme şeyl ve kiltası içeren katı, geçirimsiz siltli kil olarak belirirken, alt kesimlerinde kiltası ve şeyl parçaları çok katı, geçirimsiz killi matriks içerisinde gözlenirler. Formasyona ait tabakalar K42D 26GD doğrultu ve eğimine sahiptirler. Yeraltı su seviyesi zemin seviyesinden 3.00 metre aşağıdadır.

Km 8+225 civarında, güzergahı KAF'ın bölgedeki kollarından biri olan Düzce fayı keser. Fay üzerindeki atım ve dolayısıyla viyadükte oluşacak deformasyon nedeniyle bu bölüm güzergahın en önemli kısmını oluşturmaktadır.

Km 8+480 - km 8+520 arasında, yaklaşık 40.00 m.'lik bir hat boyunca kiltası-silttaş-şeyl aralanmasının yüzeylediği zemin üzerinde yer alan güzergah, km 8+660'dan itibaren, bu birimin üzerine bindirme ile gelmiş, çok ayrılmış ve kırılanmış diyorit-amfibolit birimi üzerinde devam eder. Bu kesimde gelişigüzel çatlaklar çoğunlukta olmakla birlikte KD-GB doğrultulu ve değişik eğim derecelerinde GD'ya eğimli bir çatlak takımı belirlenebilmiştir. Özellikle bindirme ve fay zonları yakınlarında sistemsiz kırıklar çoğunluktadır. Çatlak dolguları yeraltı suyu açısından sorun oluşturabilmektedir.

Birim, çok zayıf dayanımlı ve çok ayrılmıştır. Güzergahı km 8+600 yakınlarında etkileyen sağ yanal doğrultu atımlı pasif bir fay, diyorit-amfibolit ile kiltası-silttaş-şeyl aralanması arasında tektonik dokanak oluşturur.

Diyorit-amfibolit birimi içerisinde yeralan çatlakların siltli killi malzeme ile doldurulmuş olması nedeniyle yeraltında hidrostatik basınç oluşma olasılığı belirmektedir. Km 8+520'den km 8+803'e kadar güzergah, diyorit-amfibolit birimi üzerinde yer alır.

Güzergah boyunca karşılaşılan yeraltı koşulları, genel olarak kohezyonsuz zeminler için sıkı-çok sıkı, kohezyonlu zeminler için katı-çok katı olarak nitelendirilebilir. Güzergahtaki birimlerin taşıma güçlerinin azlığı nedeniyle, temellere etkileyen yükler kazık yüzeyindeki sürtünme ile zemine aktarılır.

6. GUMÜŞOVA – GEREDE OTOYOLU VİYADÜK-1 KESİMİNDE 12 KASIM 1999 DÜZCE DEPREMİNDE OLUŞAN HASARLARIN İNCELENMESİ

6.1 12 Kasım 1999 Depremi ve TEM Otoyolu Asarsu Vadisi Geçışı

12 Kasım 1999 tarihinde, Düzce şehrinin güneyinde 7.2 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir. Bu kesim, fayın 17 Ağustos 1999 depreminde kırılmayan parçası üzerindedir. Fay, yaklaşık 40 km uzunluğunda, doğu-batı gidişli bir yüzey kırığı oluşturmuştur. Yırtık boyunca gözlenen sağ yanal atımlar, Düzce civarında ortalama 1.5 m, Bolu civarında ise ortalama 3.0 m olarak ölçülmüştür. Eften gölü civarında 3.5 m’lik düşey atım gerçekleşmiştir. Maksimum sağ yanal atım, Kaynaşlı’nın 8.0 km doğusundaki Güven Köyü’nde, 5.0 m civarındadır. Yüzey kırığı dar bir deformasyon zonu içerisinde oluşmuştur ve 2 – 5 m genişliğindedir.

TEM Otoyolu’nun Bolu – Düzce arasındaki kesimi inşa aşamasındadır. Otoyol bu kesimde, Gümüşova’dan itibaren Düzce ovasının kuzey kenarını izleyerek Bolu Tüneli’nin Asarsu portaline ulaşır. Gümüşova-Gerede Otoyolu Kısım-2 bünyesinde yer alan ve deprem öncesindeki projeye göre inşaatı %95 oranında tamamlanmış olan Viyadük-1, %5 oranında tamamlanmış olan Viyadük-2 ve %70 oranında tamamlanmış Bolu Tüneli 12 Kasım 1999 depreminden önemli ölçüde etkilenmişlerdir. Deprem sonrasında Viyadük-2 ve Bolu Tüneli güzergahlarında değişiklik yapılmıştır. Buna göre, Viyadük-2’nin bulunduğu kısım 3 ayrı viyadükle geçilirken, Bolu Tüneli Elmalık portalı iptal edilerek, bu kısım için yeni bir güzergah belirlenmiştir.

Deprem sonrasında üretilen yeni projeye göre Viyadük-1, Viyadük-2, Viyadük-3 ve Viyadük-4’ün toplam uzunluğu, otoyolun bu kesiminde 4.785 m’dir. Her bir viyadüğe ait uzunluklar aşağıda sunulmaktadır.

Viyadük-1 : 2.350 m.	;	Viyadük-3 : 390 m.
Viyadük-2 : 1.285 m.	;	Viyadük-4 : 760 m.

Bu çalışmaya konu olan Viyadük-1, 49.00 m maksimum yüksekliğe, 39.00 m açıklık uzunluğuna ve 17.50 m genişliğe sahiptir. Her bir ayak, 12 adet, 1800 mm çapında yerinde dökme beton kazıklarla desteklenir.

12 Kasım 1999 depreminde Düzce fayı boyunca oluşan 1.5 m'lik sağ yanal atım nedeniyle, Viyadük-1 önemli ölçüde hasara uğramıştır (Şekil 6.1). Düzce fayı, Viyadük-1'i tek bir lokasyonda (Ayak 44 - Ayak 47) ve 10° - 15° 'lik bir açıyla keser. Düşey atım, fay geometrisine bağlı olarak yırtık boyunca değişir ve birkaç santimetre ile 0.5 m arasında değerler taşır. Depremde üstyapı ve ayaklar arasında önemli yerdeğiştirmeler oluşmuş, bazı ayaklar düşey ekseninde 13° dönmüşlerdir (Şekil I.7). Ayrıca kirişlerde yer alan elemanların çoğu ve enerji absorbe edici birimler (EDU) zarar görmüş veya kullanılamaz hale gelmişlerdir.

Düzce depremi yüzey kırığı, Viyadük-1'in doğusunda, Asarsu vadisinin kuzeydoğusunda 3.5 km boyunca devam eder. Vadini doğusunda sağ yanal atım düzenine uygun sekmeli kırıklar gelişmiştir. Şekil I.8'de bu sekmeli kırıklardan oluşan öbeklerden birisindeki tipik bir kırık görülmektedir.



Şekil 6.1 12 Kasım 1999 depremi yüzey kırığı (Ayak No.45'e doğu-batı yönlü bakış)

6.2 Deprem Sonrası Viyadük – 1’de Yapılan Araştırmalar

12 Kasım 1999 depreminden sonra, Viyadük-1’e ait temelerde oluşan hasarların belirlenebilmesi amacıyla Yüklenici firma tarafından çeşitli araştırmalar yürütülmüştür. Bu araştırmalarda ulaşılmaya çalışılan hedefler;

- Topoğrafik bilgilerin yorumlanması sayesinde, zemin ve temel deformasyonlarına ilişkin kanıt sağlanması,
- Deprem nedeniyle temelerde oluşan hasarın mekanizmasının ortaya çıkartılması,
- Araştırma programından elde edilen bilgilerin Viyadük-1’e ait bütün temelerin güncel durumlarının belirlenmesi için özetlenmesi ve yorumlanması,
- Hasarın, şiddetine göre sınıflandırılması,
- Depremde hasara uğramayan temelerin belirlenmesi,
- Önemli yapısal hasara uğrayan ve kuvvetlendirme çalışmaları yapılması gereken temelerin belirlenmesi,

Yüklenici firma tarafından, Ocak – Aralık 2000 tarihleri arasında, yukarıda hedefleri sıralanan araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Araştırmalarda kullanılan yöntemler; topoğrafik araştırmalar, kazıklardan karot alınması, yankı deneyi, tekil kuyu (down-hole) deneyi, paralel kuyu (cross-hole) deneyi, serbest yükselim deneyi ve kazık başı ve kazık başlıklarının görsel kontrolü’dür.

Tablo 6.1’de, Viyadük 1’de deprem sonrası yürütülen araştırmalar özetlenmiştir. Yankı, Görsel Kontrol ve Tekil Kuyu deneylerinin tek bir temelde uygulanmasına ilişkin akım şeması Şekil 6.2’de sunulmuştur.

6.2.1 Topoğrafik Araştırmalar

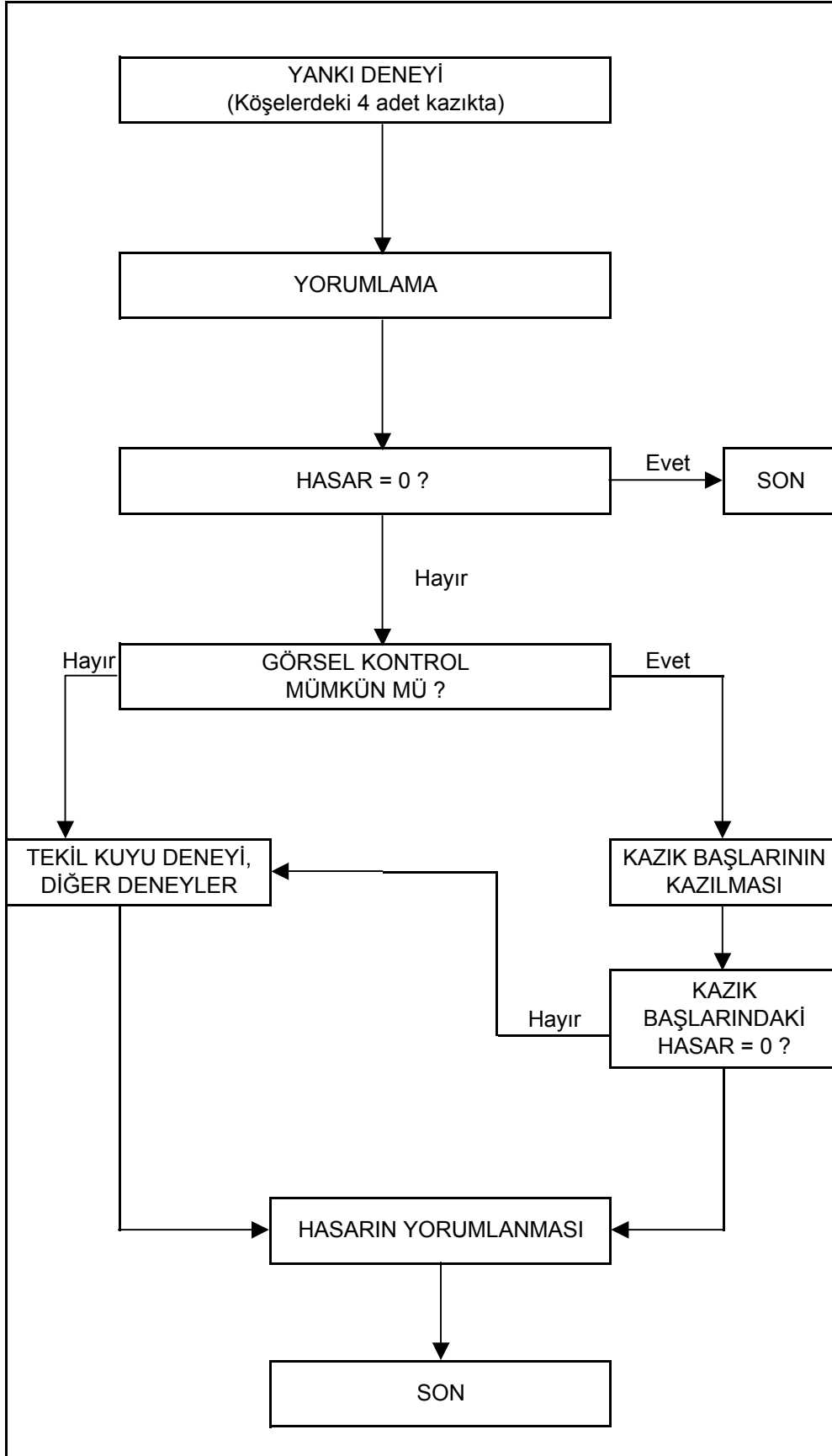
İki ayrı topoğrafik araştırma, zemin deformasyonları ve temelerin davranışları hakkında değerli bilgilere ulaşılmasını sağlamıştır.

Tablo 6.1 Viyadük 1'de Deprem Sonrası Gerçekleştirilen Araştırmalar

Ayak	Araştırma	Ayak	Araştırma	Ayak	Araştırma	Ayak	Araştırma
S1 L	T, GK	15 L	T	30 L	T,Y	45 L	T, GK, Y
S1 R	T, GK	15 R	T	30 R	T,Y	45 R	T,GK,TK,K,Y
1 L	T	16 L	T	31 L	T,Y	46 L	T, GK, Y
1 R	T	16 R	T	31 R	T,Y	46 R	T, GK, Y
2 L	T	17 L	T	32 L	T,Y	47 L	T,TK,PK,K,SY,Y
2 R	T	17 R	T	32 R	T,Y	47 R	T, GK, Y
3 L	T, GK, Y	18 L	T	33 L	T,Y	48 L	T, GK, Y
3 R	T	18 R	T	33 R	T, GK, Y	48 R	T, Y
4 L	T	19 L	T	34 L	T, GK, Y	49 L	T, Y
4 R	T	19 R	T	34 R	T, GK, Y	49 R	T, Y
5 L	T	20 L	T	35 L	T, GK, Y	50 L	T, Y
5 R	T	20 R	T	35 R	T,Y	50 R	T, Y
6 L	T	21 L	T	36 L	T,Y	51 L	T
6 R	T, GK, Y	21 R	T	36 R	T,Y	51 R	T
7 L	T	22 L	T	37 L	T,Y	52 L	T
7 R	T, GK, Y	22 R	T	37 R	T,Y	52 R	T, GK, Y
8 L	T	23 L	T, GK	38 L	T,Y	53 L	T, GK, Y
8 R	T	23 R	T	38 R	T,Y	53 R	T
9 L	T	24 L	T,GK,PK,SY,Y	39 L	T,Y	54 L	T
9 R	T	24 R	T,T	39 R	T,Y	54 R	T
10 L	T,PK,TK,K,SY,Y,GK	25 L	T, GK, Y	40 L	T, GK, Y	55 L	T
10 R	T	25 R	T, GK, Y	40 R	T,Y	55 R	T
11 L	T	26 L	T, GK, Y	41 L	T,Y	56 L	T, GK, Y
11 R	T	26 R	T, GK, Y	41 R	T, GK, Y	56 R	T
12 L	T	27 L	T,GK,PK,SY,Y	42 L	T,Y	57 L	T
12 R	T	27 R	T,Y	42 R	T,Y	57 R	T
13 L	T,Y	28 L	GK,Y	43 L	T,Y	S2 L	T
13 R	T	28 R	T,Y	43 R	T,Y	S2 R	T,Y
14 L	T, GK, Y	29 L	T,GK,PK,SY,Y	44 L	T,TK,K,Y,GK		

LEJAND

T	Topografik Araştırma
K	Karot Alımı
Y	Yankı Deneyi
PK	Paralel Kuyu Deneyi
TK	Tekil Kuyu Deneyi
SY	Serbest Yükselim Deneyi
GK	Görsel Kontrol



Şekil 6.2 Hasar Araştırması Akım Şeması

- Zemin deformasyon özelliklerinin incelenmesi;
- Komşu ayaklardaki boyuna yerdeğiştirmelerin ölçülmesi;

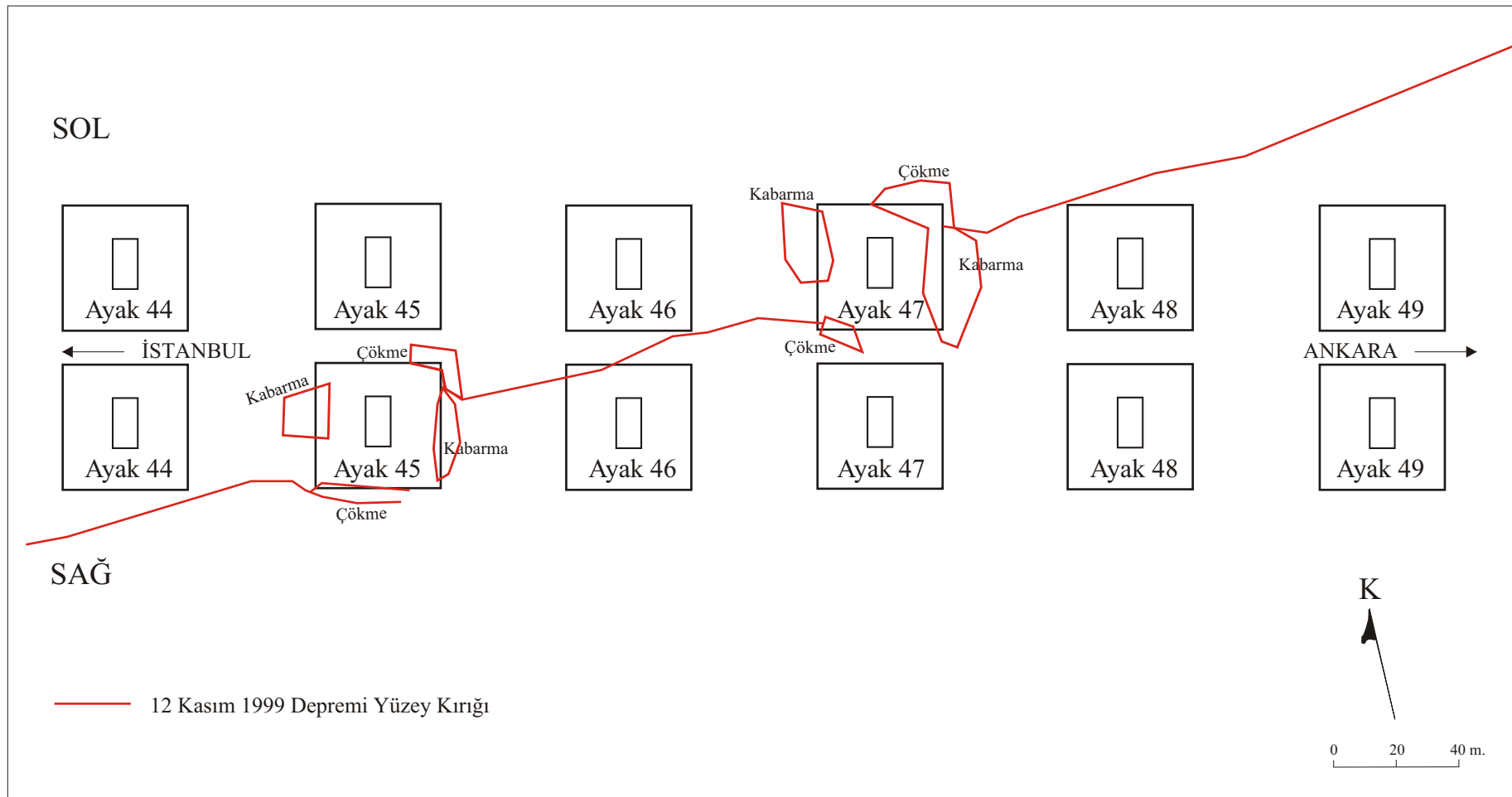
6.2.1.1 Zemin Deformasyon Özelliklerinin İncelenmesi

12 Kasım 1999 depreminden sonra, Viyadük-1 boyunca ana zemin özellikleri araştırılmıştır. Bu araştırmalardan, Düzce Fayı'nın viyadük güzergahını 10° - 15°'lik bir açıyla (D – B) Ayak 45 Sağ ve Ayak 47 Sol'un yer aldığı bölgede kestiğı, ve ortalama 0.5 metre genişliğinde çatlaklar oluşturduğu belirlenmiştir (Şekil 6.3). Haritalama ve paleosismik hendek açımından elde edilen bilgi doğrultusunda (Barka ve Lettis, 2000) 1.5 metrelik bir sağ yanal atım belirlenmiş olup, zemin deformasyonlarının 2 – 5 metrelik dar bir zonda gerçekleştiğı anlaşılmıştır.

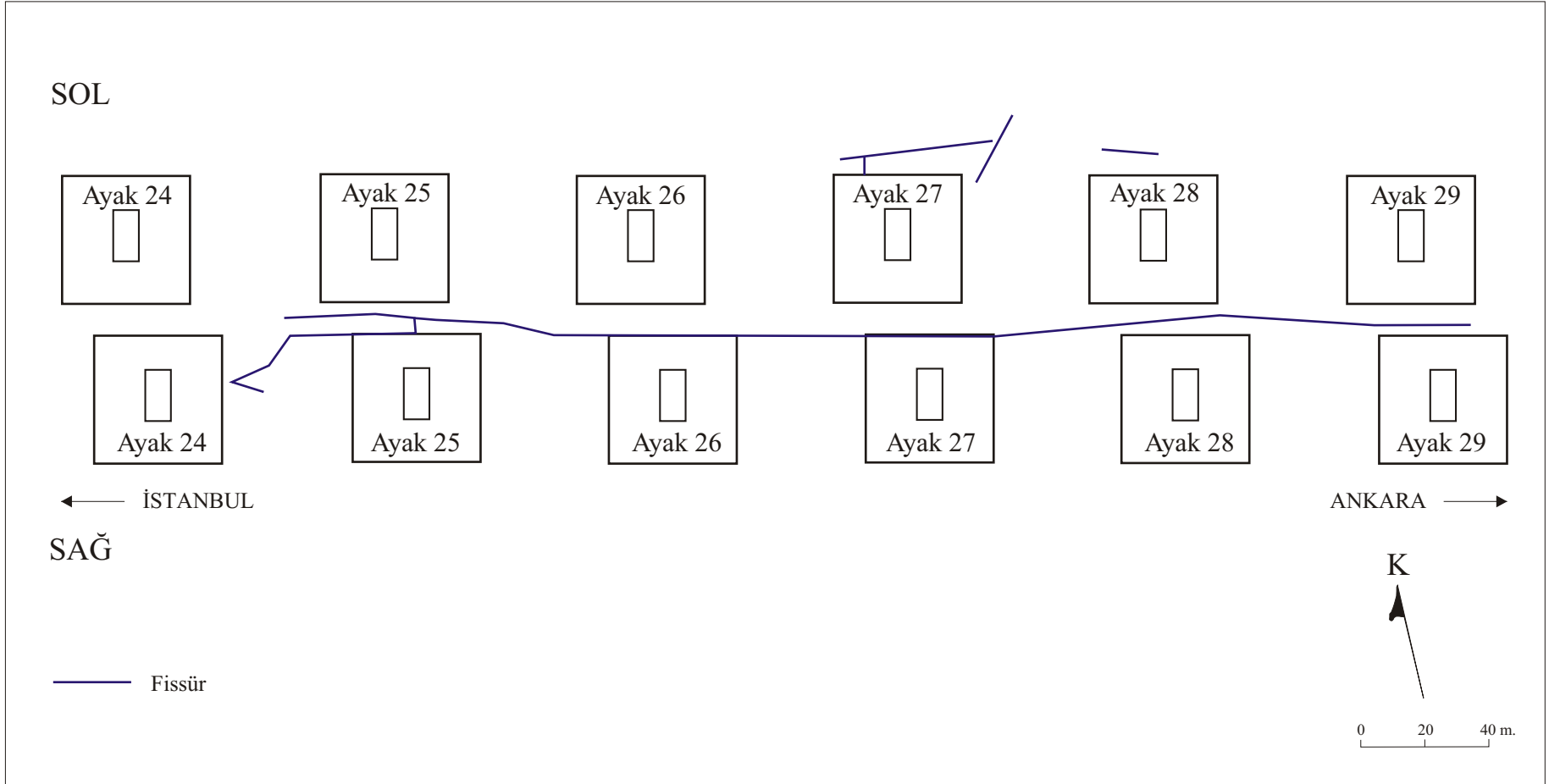
Zemin deformasyonuna ilişkin topografik ve jeolojik bilgiler Viyadük–1 için azalan önem derecesine göre üç kısımda incelenebilir:

- Kısım A (Ayak 44 Sağ – Ayak 47 Sol); ana fay kırığı boyunca konumlanmıştır. Zemin sıkışması Ayak 45 – Ayak 47 arasında gözlenir. Bu ayaklarda, düşey eksendeki saat yönündeki dönme çıplak gözle görülebilir. Ayak 44 Sağ ve Ayak 48 Sol no'lu ayaklarda görsel araştırma için yapılan kazılarda fay hattı Apalar Formasyonu (Ta) ile güncel alüvyon çökelleri (Qal) arasında bulunan kırmızımsı fay kili, fayın varlığını göstermektedir.
- Kısım B (Ayak 34 – Ayak 41); ana fay kırığının batısında konumlanmıştır. 0.2–0.4 m genişliğindeki zemin fissürleri iki köprü arasında uzanır.
- Kısım C (Ayak 24 – Ayak 29); fissür açılımları ve yönelimleri Kısım B'ye benzer (Şekil 6.4). Ayak 25 ve Ayak 26'daki görsel araştırmalar güncel alüvyon çökellerinin Bülbüldere Heyelanı kaynaklı, heyelan malzemesi tarafından üzerlendiğini göstermiştir. Bu anormal stratigrafik durum, Barka, 2000 tarafından, geçmişte heyelan topuğunda meydana gelen yer değıştirmelerin bir sonucu olduğı ve ayakların çevresindeki fissürlerin de sorumlusu olabileceğı görüşü ortaya atılmıştır. Bundan dolayı, ayakların çevresindeki zemin fissürlerinin, ana fay kırığıyla çok yakından ilişkili olduğı sonucuna varılmıştır.

Viyadük-1'in uç batı ve doğu uçlarında (Kenar Ayak 1-Ayak 23; Ayak 48-Kenar Ayak 2) zemin deformasyonuna ilişkin bir kanıt yoktur.



Şekil 6.3 12 Kasım 1999 Düzce depreminde Viyadük 1’de oluşan yüzey kırığı haritası, Ayak 44 - Ayak 49 (Pane, 2000)



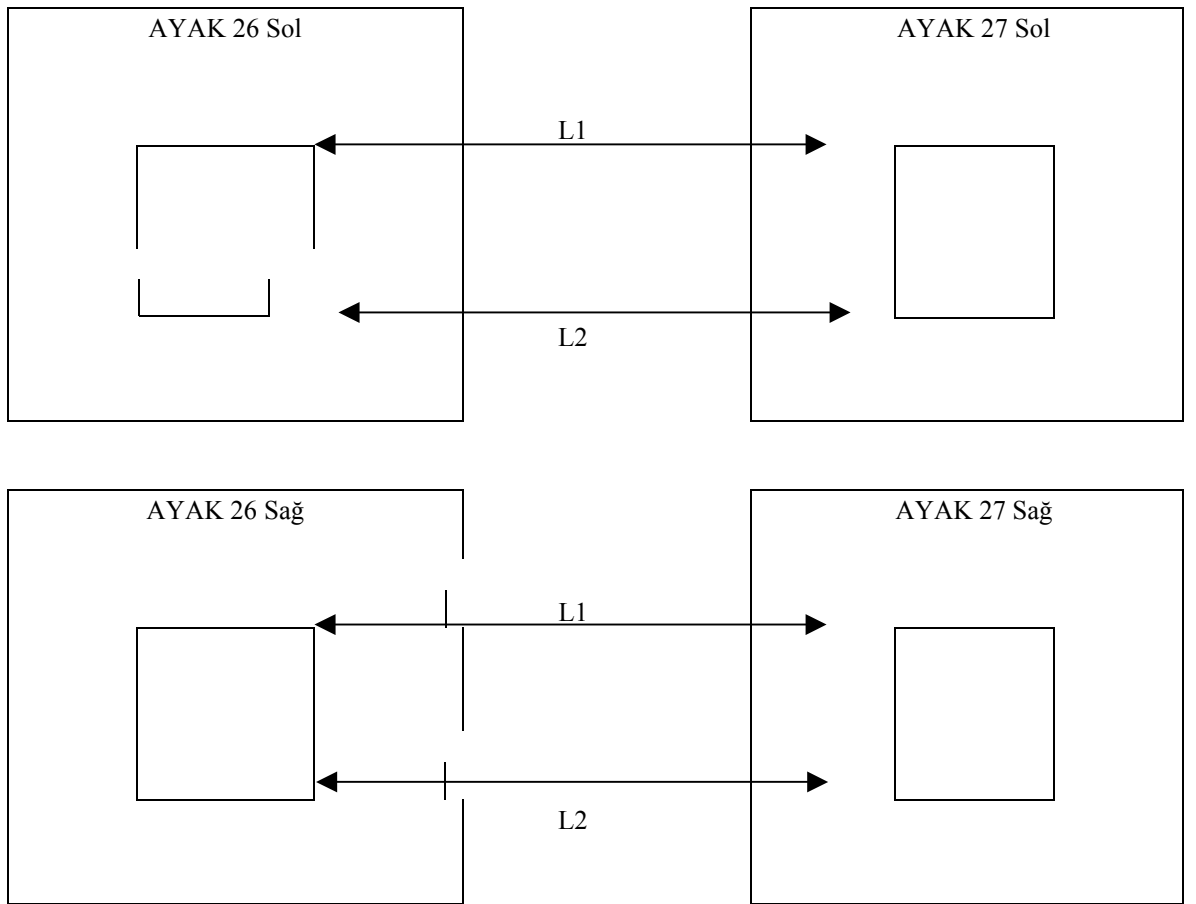
Şekil 6.4 12 Kasım 1999 Düzce depreminde Viyadük 1’de Oluşan Fissür Haritası, Ayak 24 - Ayak 29 (Pane, 2000)

6.2.1.2 Komşu Ayaklardaki Boyuna Yerdeğiştirmelerin Ölçülmesi

Deprem nedeniyle oluşan yer değiştirmelere ait en yararlı bilgi, komşu ayaklar arasındaki uzaklığın ölçülmesi ile elde edilmiştir. Boyuna yerdeğiştirme, her bir ayağın kuzey ve güney köşelerinde karşılıklı ikişer nokta belirlenmesi ve bunların projedeki teorik uzaklıkla karşılaştırılması sonucu elde edilmiştir.

$d_1 = L1_{proj} - L1_{ölçülen}$, Kuzey Noktaları. (Şekil 6.5)

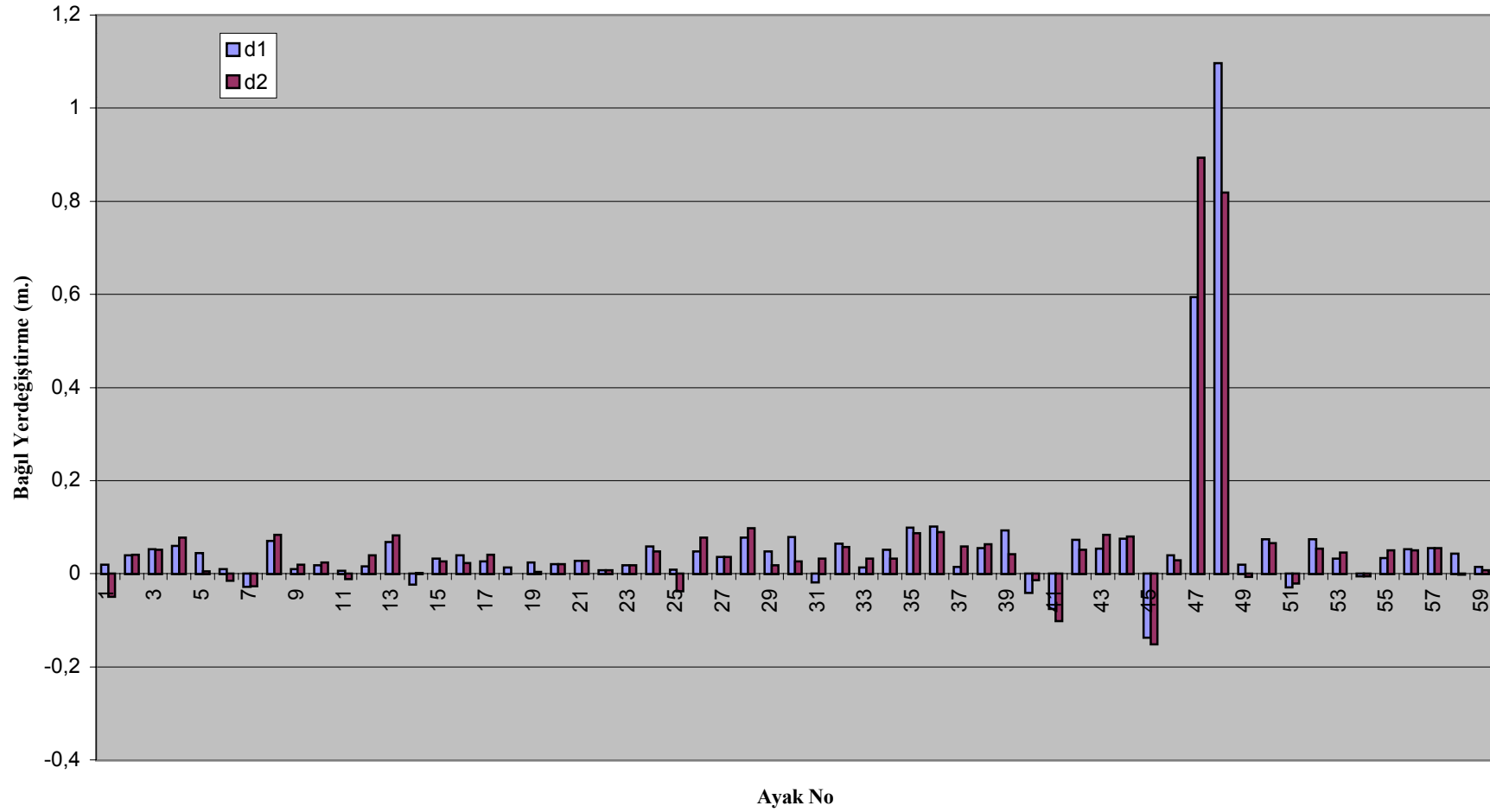
$d_2 = L2_{proj} - L2_{ölçülen}$, Güney Noktaları. (Şekil 6.5)



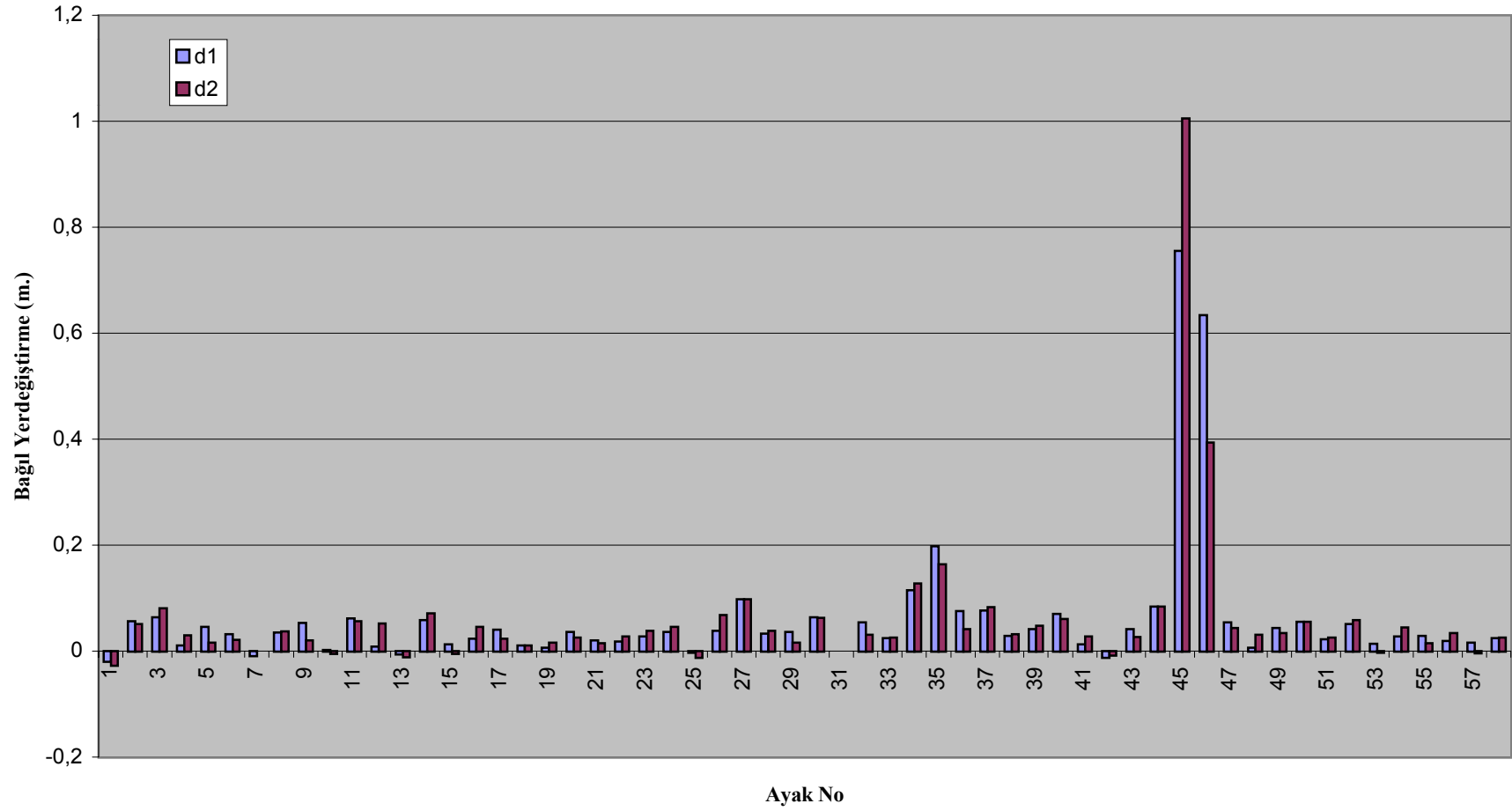
Şekil 6.5 Komşu Ayaklardaki Boyuna Yerdeğiştirmelerin Ölçülmesi

Ölçümler sonucunda aşağıdaki yorumlara ulaşılmıştır (Şekil 6.6; Şekil 6.7):

- Teorik ve pratik uzaklıklar arasındaki farklılıklar -2 cm. ve $+8$ cm. arasında değişmekte olup, ortalama değer $+3$ cm.dir. Bu tip bir ortalama değer, ölçme tekniğine bağlı sistematik bir hata ve/veya inşaat sırasındaki çeşitli toleranslardan kaynaklanmış olabilir.



Şekil 6.6 Bağlı Yerdeğiştirme d1, d2 (Sol Köprü)



Şekil 6.7 Bağıl Yerdeğiştirme d1, d2 (Sağ Köprü)

- Viyadüğün ana yüzey kırığı boyunca konumlanmış kesiminde (Ayak 44 – Ayak 47) çok daha büyük farklılıklar gözlenir. d_1 , d_2 değerleri -15 cm ile +110 cm arasında değişir. Teorik ve pratik değerler arasındaki bu büyük farklılıklar sismik bir olayın varlığıyla açıklanabilir.

6.2.2 Karot Delgisi

Araştırmanın başlarında, ayak temellerindeki yapısal hasarın tespitinde, karot alımının en mantıklı ve doğrudan yol olduğu düşünülmektedir. Bundan dolayı yedi kazık -üç tanesi kritik ayaklar Ayak 45 Sağ ve Ayak 47 Sol'a ait- karot alımı için kazık başlarından itibaren delinmiştir (Tablo 6.2). Bütün çabalara karşın, çatlakların çoğu delme ve/veya taşıma işlemi sırasında oluşmuştur. Bundan dolayı, düşük RQD değerleri, ezilmiş zonların varlığı ve birden çok diyagonal çatlak nedeniyle kazık betonundaki ağır hasar kolaylıkla saptanabilmişken, tali hasarların belirlenmesi (örn. imalat hataları ve/veya bağlantı noktaları) zor olmuştur. Ayrıca teknik, maliyet ve zaman açılarından dezavantajlıdır.

Tablo 6.2 Kazıklardan Alınan Karotların Değerlendirilmesi

Ayak	Kazık	Yapısal Hasar	Hasar Yoğunluğu	Tali Hasarlar
10 SOL	223	Yok	-	derinlik: 4.80
	228	Yok	-	derinlik: 2.50
44 SOL	1041	Yok	-	derinlik: 4.30
	1047	Yok	-	derinlik: 3.50
45 SAĞ	1075	Var	üst 7 metre ($z = 3 - 10$ m)	-
47 SOL	1113	Var	üst 4 metre ($z = 3 - 7$ m)	-
	1116-1	Var	üst 3 metre ($z = 3 - 6$ m)	-
	1116-2	Var	üst 6 metre ($z = 3 - 9$ m)	-

Not : "z" derinliği 3 metre kalınlığındaki kazık başlığının üst noktasından itibaren ölçülmüştür.

Tablo 6.2'nin yorumlanması sonucu aşağıdaki bilgilere ulaşılmıştır:

- Yüzey kırığından uzakta konumlanmış bulunan Ayak 10 Sol, 223 ve 228 no'lu kazıkların betonunda yapısal hasara ait herhangi bir iz gözlenmemektedir.

Betonlarının sadece üst kesimlerinde tali hasarlar gözlenen Ayak 44 Sol, 1041 ve 1047 no'lu kazıklarda da aynı sonuca ulaşılır. Bu sonuçlar, aynı kazıklar üzerinde yapılan ve sadece 0.2 - 1.0 mm. genişliğinde ince çatlaklar belirlenen görsel inceleme sonuçlarıyla paraleldir.

- Yüzey kırığı boyunca konumlanmış olan Ayak 45 Sağ ve Ayak 47 Sol'a ait 1075, 1113 ve 1116 no'lu kazıklarda, betonda belirgin yapısal hasarlar gözlenmektedir.
- Yapısal hasar, kazıkların üstten 10 metrelik kısmında yoğunlaşmakta ve maksimum hasar kazık başında olmaktadır.

6.2.3 Yankı Deneyleri

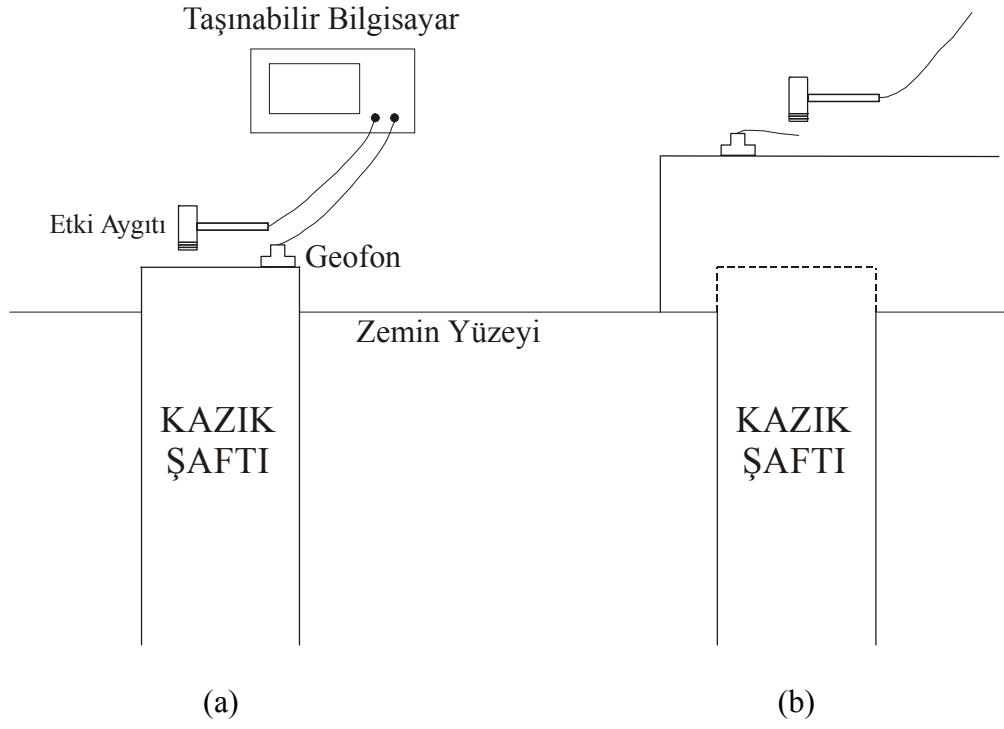
Yankı deneyi, kazık hasarlarının tespitinde kullanılabilen, hızlı sonuç alınabilen bir tekniktir. Yankı Metodu kullanılarak yapılan düşük-gerilimli süreklilik deneyi, örselemeyici ve dalga yayılmasını baz alan bir tekniktir. Kazık aksında, şaft boyunca kazık üst noktasından kazık alt noktasına doğru yayılan ve geri dönüp kazığın üst tarafına yerleştirilmiş bulunan alıcıya gelen basınç dalgasının zaman ve özellikleri ölçülür. Dalga, elle tutulan bir etki aygıtı darbesiyle yaratılır. Genellikle etki aygıtı olarak çekiç kullanılır (Şekil 6.8). Bu araştırmada üzerinde durulan nokta; dalganın beton içerisindeki yayılma hızıdır. Düşük gerilimli süreklilik deneyinin temeli; lineer, tek boyutlu dalga denklemidir. Dalgalar düzenli bir hat boyunca, değişmeden yayılırlar.

Dalğanın yayılma zamanı, ilk maksimumdan kazık alt noktasındaki yansımanın en üst noktasına kadar ölçülür. Gerçek boyu (L) hesaplamak için kullanılan formül aşağıda belirtilmiştir.

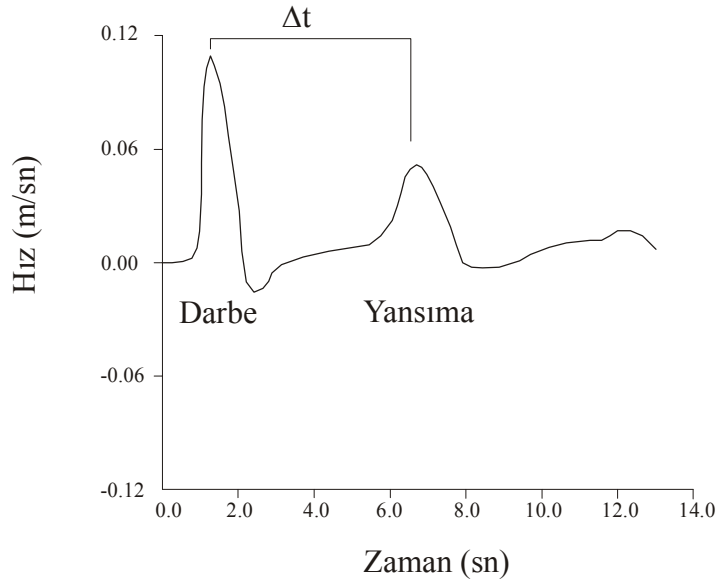
$$L_{ölçülen} = V_p \Delta t / 2 \quad 6.1$$

V_p Kazık betonu içindeki dalğanın hızı

Δt Dalğanın yayılma zamanı



Şekil 6.8 Yankı Deneyi Tekniği : (a) Ulaşılabilen kazık Başı (b) Ulaşılamayan kazık başı



Şekil 6.9 Tipik Yankı Deneyi Sonuç Grafiği

Deneyin yorumlanması, kazık içerisinde yaratılan dalganın yayılma zamanının ölçülmesine dayanır. Dalga, herhangi ana bir süreksizlikten yukarı yansıyacağı için, sinyalin ilk maksimum noktası ve yansıyan maksimum nokta arasındaki zaman farkı anomalinin (z) yerini belirler.

Dalga hızı başlıca betonun Elastisite Modülüyle (E) ilişkilidir.

$$E_c = \rho V_p^2 \quad 6.2$$

$$\rho = \gamma/g = \text{betonun birim hacim ağırlığı} = 2,5/9,81 = 0,255 \text{ t sn}^2/\text{m}^{-2} \quad 6.2a$$

Bu nedenle, iyi kalite betonun elastisite modülü baz alınmış ve dalga hızı aralığı buna göre belirlenmiştir:

$$E_c = 3.100.000 - 4.500.000 \text{ t/ m}^2 \quad \Rightarrow \quad V_p = 3500 - 4200 \text{ m/sn}$$

Viyadük-1 için bu testler, 3.0 metre kalınlığındaki kazık başlıklarının tepe noktasından itibaren, kazıkların düşey eksenine denk gelen noktalara uygulanmıştır (Tablo 6.3).

Kazık ile kazık başlığı arasındaki ilişkiye bakıldığında; kazık başlığının üst yüzeyinden elde edilen sinyallerin kazık ile kazık başlıkları arasındaki bağlantının sürekli olup olmadığını belirleyebildiği anlaşılmıştır.

Genellikle süreksizliklerle karşılaşmayan sinyaller kazık başlığı ve tüm kazık shaftı boyunca yayılmışlardır. Bu kazıklar “hasarsız” olarak nitelendirilmişlerdir.

Buna aykırı olarak Ayak 47 Sol’da olduğu gibi süreksizliklerle karşılaşan sinyaller, yüzeyden yaklaşık 3 metre aşağıda güçlü yansımalar göstermişlerdir. Bu da kazık ile kazık başlığı arasında bir süreksizlik olduğunu ortaya çıkartmıştır. Bu kazıklar da “hasarlı” olarak nitelendirilmiştir.

Bazı durumlarda aynı kazık başlığı üzerinde (Ayak 45 Sağ) bazı kazıklar başlık ile herhangi bir süreksizlik göstermezken (Kazık no. 1083), bazıları açık olarak süreksizlik içermektedir (Kazık no. 1075, 1077, 1080).

Ayak 47 Sol’da sadece bir kazıkta süreksizlik gözlenmemiştir (Kazık no.1113).

Tablo 6.3 Yankı Deneyi Sonuçları

Ayak	Kazık	Δt (m/sn)	Lproje (mt)	Lölçülen (mt)		Test edilen kazık adedi	Yapısal Hasar	Hasar Derinliği	Tali Anomali
				$V_p = 3,5$	$V_p = 4,2$				
P3 Sol	75	12,10	23,50	21,20	25,40	5			
	78	10,80		18,90	22,70				
	79	12,90		22,60	27,10				
	81	13,80		24,20	29,00				
	82	13,40		23,50	28,10				
P10 Sol	223	11,80	34,30	20,70	24,80	5			
	225	17,00		29,80	35,70				
	228	16,80		29,40	35,30				
	231	16,90		29,60	35,50				
	234	17,80		31,20	37,40				
P24 Sol	559	10,72	21,20	18,70	22,50	4			
	561	10,72		18,70	22,50				
	568	10,40		18,20	21,80				
	570	10,32		18,10	21,70				
P27 Sol	631	14,04	27,30	24,60	29,50	4			
	633	13,88		24,30	29,10				
	640	13,60		23,80	28,60				
	642	13,72		24,00	28,80				
P29 Sol	679	13,88	27,30	24,30	29,10	6			
	681	13,92		24,40	29,20				
	684	12,48		21,80	26,20				
	687	14,20		24,80	30,00				
	688	14,00		24,50	29,40				
	690	13,76		24,10	28,90				
P34 Sol	799	14,80	28,10	26,00	31,10	4			
	801	14,64		25,60	30,70				
	808	14,52		25,40	30,50				
	810	14,72		25,80	30,90				
P44 Sol	1041	12,60	26,40	22,10	26,50	4			
	1044	14,40		25,20	30,20				
	1047	14,40		25,20	30,20				
	1050	13,30		23,30	27,90				
P44 Sağ	1051	14,40	26,40	25,20	30,20	6			
	1053	14,20		24,90	29,80				
	1056	13,70		24,00	28,80				
	1059	14,40		25,20	30,20				
	1060	14,30		25,00	30,00				
	1062	14,20		24,90	29,80				

Tablo 6.3 Yankı Deneyi Sonuçları

Ayak	Kazık	Δt (m/sn)	Lproje (mt)	Lölçülen (mt)		Test edilen kazık adedi	Yapısal Hasar	Hasar Derinliği	Tali Anomali
				$V_p = 3,5$	$V_p = 4,2$				
P45 Sol	1065	14,80	26,50	25,90	31,10	5			
	1068	2,00		3,50	4,20		x	Kazık başı	
	1071	14,50		25,40	30,50				
	1073	1,80		3,20	3,80		x	Kazık başı	
	1074	1,50		2,60	3,20		x	Kazık başı	
P45 Sağ	1075	1,90	26,30	3,30	4,00	6	x	Kazık başı	
	1077	1,50		2,60	3,20		x	Kazık başı	
	1080	1,80		3,20	3,80		x	Kazık başı	
	1083	14,30		25,00	30,00				
	1084	14,40		25,20	30,20				
	1086	2,00		3,50	4,20		x	Kazık başı	
P47 Sol	1111	2,70	26,30	4,70	5,70	7	x	Kazık başı	
	1113	14,00		24,50	29,40				
	1114	1,80		3,20	3,80		x	Kazık başı	
	1116	1,80		3,20	3,80		x	Kazık başı	
	1117	2,00		3,50	4,20		x	Kazık başı	
	1120	1,90		3,30	4,00		x	Kazık başı	
	1122	2,10		3,70	4,40		x	Kazık başı	

Lejand

Lproje : Kazık grubunun ortalama derinliği

Lölçüler : Ölçülen derinlik

Toplam olarak 65 ayak –tüm ayakların 55%’i bu yöntemle test edilmiştir. Genel bir kural olarak yankı testi, her bir ayağın altındaki 12 kazıktan sadece köşelerde yer alan 4 tanesine uygulanmıştır. Bu da toplam kazıkların 18%’si olan 272 kazığa tekabül eder.

Yankı testlerinin yorumlanması sonucu aşağıdaki bilgilere ulaşılmıştır:

- Viyadük-1 kısım A’da (bkz bölüm 6.2.1.1) önemli anomaliler elde edilmiştir. Ayak 45 Sol, Ayak 45 Sağ ve Ayak 47 Sol ayakları için anomali yapısal bir hasar olarak yorumlanmalıdır, zira sıkışma dalgası kazık başında konumlu bir süreksizlikten tamamıyla yukarı yansımıştır ($L_{ölçülen} = 3 - 5$ metre)
- Geri kalan ayaklarda herhangi bir yapısal hasar saptanamamıştır.

Yukarıda verilen test sonuçlarının diğer araştırma tekniklerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması üzerine yankı testlerinin kazık başlarındaki yapısal hasarların belirlenmesi için uygun bir yöntem olduğu kanısına varılmıştır.

Diğer yandan, teknik, birkaç mm genişliğindeki ufak hasarları ve beton çatlaklarını tespit etmekte başarısız olmuştur (örn. Ayak 26 Sağ, Ayak 34 Sağ, Ayak 35 Sol). Bunun nedeni çatlakların çoğunun bütün kazık kesitince devam etmemesi olabilir. Ayrıca enerjinin bir kısmının, 3 metre kalınlığındaki kazık başlığı tarafından sönmelenmesinin de etkili olduğu söylenebilir.

Yankı Metodunun diğer bir dezavantajı da; aynı kazık içerisindeki birden çok ana süreksizliği belirleyememesidir. Ancak diğer tekniklerle karşılaştırıldığında maliyet ve zaman açısından oldukça avantajlıdır.

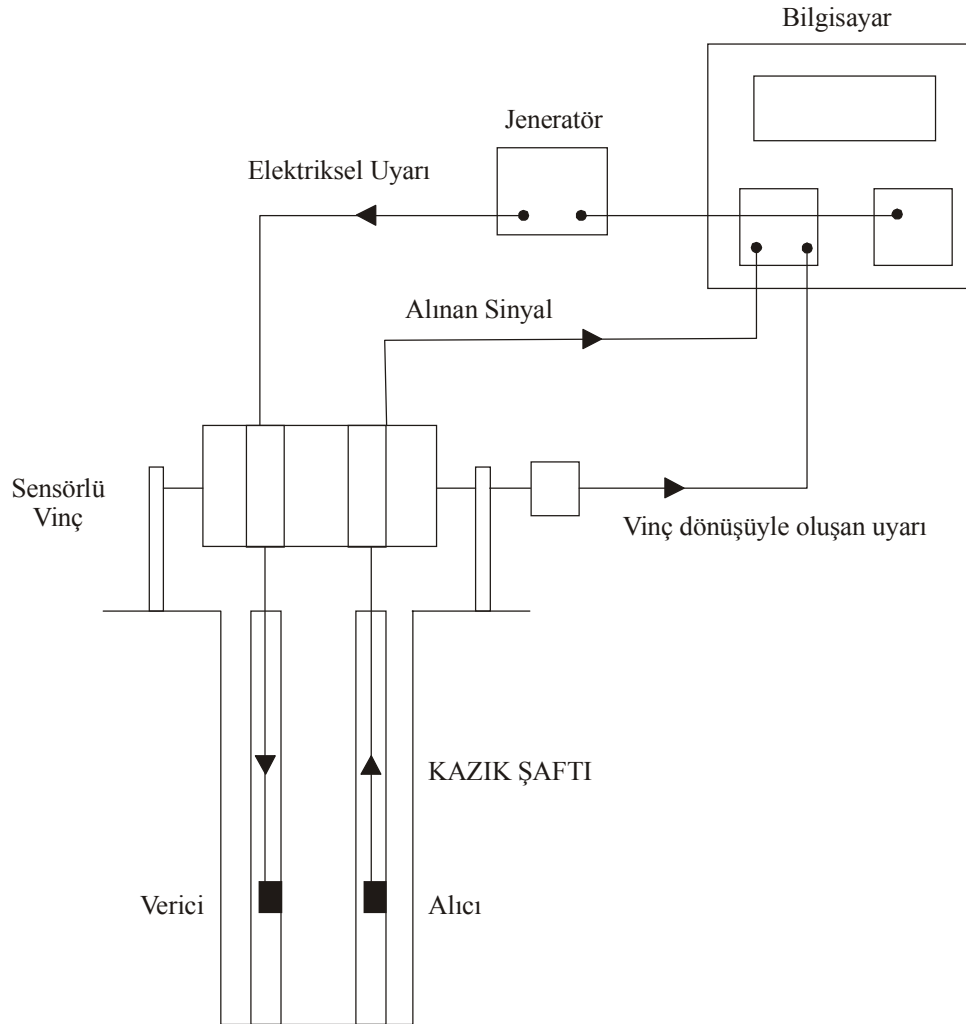
6.2.4 Paralel Kuyu ve Tekil Kuyu Deneyleri

“Tekil Kuyu” daha yaygın olarak kullanılan “Paralel Kuyu” yönteminden uyarlanmıştır. “Paralel Kuyu” metodunda, imalat aşamasında kazık içerisine yerleştirilen bir ya da daha fazla düşey tüp arasındaki sonik sinyalin yayılma zamanı ölçülür. Yerleştirilen tüpler (metal ya da PVC) suyla doldurulur. Servis halindeki shaftlarda kullanımı gerektiğinde, örneğin bu çalışmada konu edilen deprem sonrası kazık sürekliliği araştırmalarında, deney, beton içerisinde delinen kuyular kullanılarak gerçekleştirilebilir.

Ekipman; bir sinyal jeneratörü, bilgisayar ve biri verici, diğeri alıcı iki adet sondadan oluşur. Sondalar bitişik tüplerde, kazığın alt noktasına kadar indirilir ve aşamalı olarak yükseltilirler. Sonik atımlar saniyede on defa beton içerisinden geçer ve karşı tüpteki alıcı tarafından algılanır (Şekil 6.10).

Ekranda görünmeden önce her bir sinyal siyah-beyaz çizgi olarak modifiye edilir. Sondalar yukarı kaldırılarak bir “sonik profil” elde edilir.

Sinyalin verici sondadan, alıcı sondaya kadar olan normal yayılma zamanındaki herhangi bir gecikme belirlenir ve bu tip bir gecikme beton kalitesindeki anomali olarak tanımlanır.



Şekil 6.10 Paralel Kuyu Deney Ekipmanı

“Tekil Kuyu Sonik Loglama”; alıcı ve vericilerin tek bir tüp ya da beton içerisinde delinmiş tek bir kuyu içerisine yerleştirilmesiyle gerçekleştirilir. Kuyu çevresindeki beton koşulları kontrol edilir.

Sıkışma dalgasının iki sonda arasındaki yayılma zamanı ölçülmüştür. Sondalar 1.1 m. aralıklarla yerleştirilmiş olup kuyunun alt noktasına kadar indirilmişlerdir. Bu nedenle teknik tüm kazık shaftı boyunca olan hasar ve anomalileri belirleyebilmektedir. Yayılma zamanı hasar oranına paralel olarak artar.

Tekniğin avantajlarından biri, aynı kazık içerisindeki birden çok süreksizliği saptayabilmesidir. Dezavantajı ise uygulanabilmesi için bir kuyu açılması gerekmesi ve bunun da deneyin masraf ve zamanını arttırmasıdır.

Tekil Kuyu (TK) ve Paralel Kuyu (PK) deneyleri Ayak 10 Sol, 24 Sol, 27 Sol, 29 Sol, 44 Sol, 45 Sağ ve 47 Sol’da uygulanmıştır (Tablo 6.4).

Tablo 6.4 Tekil Kuyu ve Paralel Kuyu Deney Sonuçları

Tekil Kuyu

Ayak	Kazık	Yapısal Hasar	Hasar Yoğunluğu	Diğer Anomaliler
10 SOL	228	Yok	-	tali anomali - derinlik: 26,31
44 SOL	1041	bkz. 6.2.6	başlık - kazık arası	anomali - derinlik: 10,00
44 SOL	1047	Yok	-	anomali - derinlik: 7 - 9 - 10
45 SAĞ	1075	Var	üst 10 metre	birden çok anomali - başlık dahil
47 SOL	1113	Var	başlık - kazık arası	-

Not 1) "z" derinliği 3 metre kalınlığındaki kazık başlığının üst noktasından itibaren ölçülmüştür.

Paralel Kuyu

Ayak	Kazık	Yapısal Hasar	Hasar Yoğunluğu	Diğer Anomaliler
10 SOL	223	Yok	-	-
10 SOL	228	Yok	-	tali anomali - derinlik: 19,00
24 SOL	559	Yok	-	tali anomali - derinlik: 4,00
27 SOL	633	Var	kazık başlığı	tali anomali - derinlik: 8,00
29 SOL	684	Yok	-	

Not 1) "z" derinliği 3 metre kalınlığındaki kazık başlığının üst noktasından itibaren ölçülmüştür.

Tekil Kuyu deneyleri için, kazık boyunca tek bir kuyuya ihtiyaç vardır. Basınç dalgasının yayılma hızı, 1,1 metre düşey aralıkla yerleştirilen ve kuyunun tabanına indirilen iki sensör tarafından ölçülür. Daha sonra sensörler 5.0 cm yükseltilir ve ölçüm bu şekilde kazık başlığının üst noktasına gelene kadar tekrarlanır.

Paralel Kuyu deneyinde ise, birbirine paralel yerleştirilen iki sensör yardımıyla dalga hızı ölçülür. Prensip olarak her iki teknik de kazık şaftı boyunca olan ana ve tali anomalileri saptayabilir, zira yayılma zamanı hasarın önem derecesine paralel olarak artar.

TK ve PK deneylerinin avantajlarından biri aynı kazık içerisinde birden çok süreksizliği saptayabilmeleridir. Dezavantajı da deney prosedürünün önceden delinmiş bir kuyu içermesi ve bunun da testin maliyet ve süresini artırmasıdır. TK ve PK deneylerinin yorumlanması sonucu aşağıdaki bilgilere ulaşılmıştır:

- Her iki teknik de bütün kazık boyunca tali ve ana hasarların belirlenmesine olanak sağlamaktadır.
- TK ve PK testleriyle belirlenebilen bazı özellikler karotlardan ve yankı testlerinden elde edilememiştir (örn. Kazık no. 1041; başlık – kazık sınırı). Gerçekten de TK ve PK deneyleri beton karot örnekleri hakkındaki şüphelerin giderilmesi için oldukça yararlıdır.
- Ayak 10 Sol, Ayak 24 Sol, Ayak 29 Sol ve Ayak 44 Sol kazık no 1047 için herhangi bir yapısal hasar bulunamamıştır. Bu durum daha sonra yapılan görsel kontrol sonuçlarıyla örtüşmektedir.
- Ana yüzey kırığı boyunca konumlanmış bulunan Ayak 45 Sağ ve Ayak 47 Sol'da ve Ayak 27 Sol'da yapısal hasar tespit edilmiştir. Bu sonuç daha sonra yapılan başlığın görsel kontrolünde de teyit edilmiştir.
- Ayak 44 Sol kazık no 1041'de TK deneyi, başlık – kazık sınırında ana anomali tespit edilmiştir. Fakat aynı kazık üzerinde yapılan görsel kontrollerde 0.5 – 1.0 mm genişliğinde iki ince çatlak olduğu belirlenmiştir. Bu durum, deney sonucunda ortaya çıkan anomalinin kazık başlığı ile kazık arasındaki bir bağlantı noktasından kaynaklandığı sonucunu doğurmuştur.

- Kazıklardaki yapısal hasar yine şaftın üst kısımlarındadır (özellikle başlık – kazık sınırında). Tali anomaliler ise şaftın herhangi bir yerinde olabilir.

6.2.5 Serbest Yükselim Deneyi

Serbest yükselim deneyi diğer tekniklerde kullanılmış olan halihazırdaki kuyular kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deney, prensip olarak oldukça basittir ve kuyu içerisindeki su seviyesinin düşürülmesi ve takip eden yükselmenin zamanın fonksiyonu olarak kaydedilmesinden ibarettir.

Gerekli zaman geçtiğinde, kuyu içerisindeki su seviyesi kazık etrafındaki, genellikle kazık başlığının üst noktasından itibaren 1 – 3 metre arasında olan su tablasıyla dengeye gelir. Deneyde, kazık şaftı boyunca ana süreksizlik ve/veya çatlakların belirlenmesi amaçlanmıştır, zira yükselme hızı çatlak sıklığıyla orantılı olarak artmaktadır (Tablo 6.5).

Tablo 6.5 Serbest Yükselim Deney Sonuçları

Ayak	Kazık	Kuyu		Yükselme Eğrileri	Yükselme Hızı (cm/dak)		Notlar
		no	uzunluk (m.)		Vmaks	Vmin	
10 SOL	223	1	25	lineer	0.2	-	3 - 4 metre derinlikte çatlaklar (GK)
10 SOL	223	2	25	lineer	0.3	-	
10 SOL	228	1	25	lineer	0.8	-	PK ve DK deneylerinde 19 metrenin altında anomali
10 SOL	228	2	25	lineer+logaritmik	15	3	
24 SOL	559	1	25	logaritmik	32	5	kuyu, kazık alt ucundan aşağıda
24 SOL	559	2	20	lineer	2	-	4 m'te tali anomali (TK)
27 SOL	633	1	25	-	Hızlı su girişi		kazık başında hasar (GK ve TK)
27 SOL	633	2	25	-			
29 SOL	684	1	20	-	0	0	çatlak yok (GK ve TK)
29 SOL	684	2	20	lineer	0.5	-	
47 SOL	1113	1	20	-	Hızlı su girişi		başlık - kazık sınırında hasar (TK)
47 SOL	1113	2	20	-			

Not: 1) "z" derinliği 3 metre kalınlığındaki kazık başlığının üst noktasından itibaren ölçülmüştür.

Serbest yükselim deneyinin yorumlanması sonucu aşağıdaki bilgilere ulaşılmıştır:

- Ayak 10 Sol, kazık no 223'te yükselme hızı düşük ve yaklaşık sabittir. Bu durum kazık başında yapılan görsel kontrolde belirlenen ince çatlaklarla açıklanabilir. Aynı çıkarım, TK deneyinin ve GK'nın sağlam bir süreklilik gösterdiği Ayak 29 Sol, kazık no 684 için de geçerlidir.
- Ayak 27 Sol, kazık no 633'de kaydedilen yüksek debi, TK ve GK'da tespit edilen, kazık – başlık sınırındaki belirgin hasar nedeniyledir. Aynı çıkarım Ayak 47 Sol, kazık no 1113 için de geçerlidir.
- Ayak 24 Sol kazık no 559'daki yüksek debi ve logaritmik yükselme eğrisi kuyunun kazık alt noktasının daha aşağısına kadar inmesi nedeniyledir. Gerçekten de aynı kazığa ait 2 no'lu kuyuda düşük debi ve yaklaşık lineer bir yükselme eğrisi belirlenmiştir. Bu da TK testi sonucu ortaya çıkan tali anomaliye uygun bir sonuçtur.
- Ayak 10 Sol kazık no 228'da, yükselme eğrisi 18 metreye kadar lineerdir ve sonra giderek artan yükselme hızlarıyla birlikte logaritmik hale gelir. Bu gözlemler, TK ve PK deneyleri sonucu ortaya çıkan derin çatlaklarla ($z > 19$ metre) uyumludur. Kuyu 1'den elde edilen düşük debiler de çatlakların bütün kazık kesitince var olmadığını göstermektedir.

Yukarıda yapılan gözlemler değişik kontrol tekniklerinden elde edilen sonuçların birbirleriyle büyük oranda uyumlu olduğunu göstermektedir.

6.2.6 Kazık Başları ve Kazık Başlıklarının Görsel Kontrolü

Temel hasarlarının doğrudan tespitinde, kazık başlıklarının ve kazık başlarının görsel kontrolü yöntemi kullanılmıştır. Kontrol, kazıklı temel etrafındaki zeminin, kazık başlığının bir ya da daha fazla kenarından, kazık shaftının üst 1.0 – 1.2 metresini açığa çıkaracak şekilde kazılmasıyla gerçekleştirilmiştir.

Bazı lokasyonlarda su çıkması ve/veya kazık başlığının gömülmesi dolayısıyla kazı uzun sürmüş ve etkisiz olmuştur. Daha sonra kazık başları temizlenmiş ve donatıların gözlenebilmesi için beton örtü tabancalarla kırılmıştır.

Kontrol edilecek temeller daha önce bahsedilen topoğrafik araştırma sonuçlarına göre seçilmiştir. Bağlı yer değiştirmelerin kabul edilebilir değerlerin üzerinde olduğu ayaklar ele alınmıştır. Bu yüzden, kontrol edilen ayakların büyük bir kısmı 6.2.1.1’de bahsedilen kısım A, B ve C’de gerçekleşmiştir. Ayrıca Yankı, TK ve PK deney sonuçlarının ana ve tali anomaliler belirlediği ayaklarda da görsel kontrol uygulanmıştır.

6.2.7 Temel Hasarlarının Sınıflandırılması

Toplanan bütün bilgilere göre, kazıklar ve kazık başlıkları için temel hasarı sınıflandırılmıştır (Şekil H.1).

6.2.7.1 Kazıklar

Hasar 0 : Yapısal hasara ait hiçbir iz yok.

Hasar 1 : Maksimum 1 mm genişliğinde 1 ya da 2 çatlak. Betonda dağılma yok.

Hasar 2 : Tali yapısal hasar. 1 – 4 mm. genişliğinde birkaç yatay ve açılı çatlak. Çatlakların çoğu tüm kazık kesitince devam etmez.

Hasar 3 : Belirgin yapısal hasar. 4 – 8 mm. genişliğinde yatay ve yayılmış çatlaklar. Çatlakların çoğu tüm kazık kesitince devam eder.

Hasar 4 : Ağır yapısal hasar. Kazık başları dikey değil. Beton dağılmış ve donatı açıkta. Donatı içindeki beton çatlama var.

6.2.7.2 Kazık Başlıkları

Hasar 0 : Yapısal hasara ait hiçbir iz yok.

Hasar 1 : Maksimum 1 mm genişliğinde birkaç çatlak. Çatlaklar kazık başlarında başlar, fakat kazık başlığının üst noktasına kadar devam etmez.

Hasar 2 : Yapısal hasar. 2 – 7 mm. genişliğinde birçok çatlak var. Birçok çatlak bütün başlık boyunca uzanır. Plan boyutunda, çatlaklar başlık alanının sınırlı bir kesiminde gözlenirler.

Hasar 3 : Belirgin yapısal hasar. 7 – 20 mm genişliğinde dağılmış çatlaklar. Çatlaklar bütün başlık boyunca uzanır. Plan boyutunda, çatlaklar başlık alanının büyük bir kesiminde gözlenirler.

Kontrol edilen her bir temelin hasar seviyesi Tablo 6.6’da listelenmiştir. Bu bilgilerden aşağıdaki kabullere ulaşılabilir:

- 28 ayakta hasar, 0 ya da 1’e eşittir.
- Hasar, daha önce topografik ölçümler sonucu ortaya çıkan ve kısım A, B ve C’de yoğunlaşmış ayaklardaki bağıl yer değiştirmelerle yakından ilgilidir. Hasar seviyesi 1’den büyük olan ayaklar, bağıl yer değiştirmenin (+8 cm; - 3cm) kabul edilebilir sınırların üzerinde olduğu ayaklardır. Bu duruma istisna olarak aşağıda tartışılan Ayak 33 Sağ ($d_{ort} = 12,2$ cm), Ayak 44 Sağ ve Ayak 46 Sol verilebilir.
- Ayak 44 Sağ ve Ayak 46 Sağ’da, ana fay kırığının yakınında konumlandıkları ve aralarında yüksek bağıl yer değiştirmeler olduğu halde şaşırtıcı bir şekilde yapısal hasar gözlenmemiştir. Bu durum zemin deformasyonlarının orta ayak olan Ayak 45 Sağ’da yoğunlaştığını (hasar Seviyesi 4) gösterir. Aynı gözlem deformasyonların Ayak 47 Sol’da yoğunlaştığı (hasar seviyesi 4) Ayak 46 Sol ve Ayak 48 Sol için de geçerlidir.
- Teorik ve pratik öngörülmele paralel olarak ciddi çatlaklar, temelde yer alan kazık grubunun bir ya da iki köşesinde bulunan kazıklarda görülmüştür.
- Temellerdeki yapısal hasar diğer dolaylı araştırma teknikleriyle de belirlenebilmiştir (örn. Yankı, TK, PK).
- Yankı ve DK deneylerinde ortaya çıkan bazı ana anomaliler, kazıkların görsel kontrolünde teyit edilememişlerdir. (Ayak 45 Sol, Yankı deneyi; Ayak 44 Sol tekil kuyu deneyi). Bu durum anomalilerin kazık başlığı ile kazık başı arasında bir bağlantı noktası olarak yorumlanması gerektiğini göstermektedir. Bu tür bağlantılar Ayak 3 Sol, Ayak 24 Sol ve Ayak 34 Sol’da belirlenen tali anomalilerden de sorumlu olabilir.

Tablo 6.6 Kazık Başları ve Kazık Başlıklarının Görsel Kontrolü

Kısım	Ayak	Kazık					Kazık başlığı		Diğer Araştırmalar
		Hasar	n/ntop	en çok hasar gören	Dağılma	Tmaks (mm)	Hasar	Dağılma	
	S1 Sol	0	0/4	-	-	-	0	-	
	S1 Sağ	0	0/5	-	-	-	0	-	
	3 Sol	0	0/10	-	-	-	0	-	
	6 Sağ	0	0/4	-	-	-	0	-	
	7 Sağ	0	0/4	-	-	-	0	-	
	10 Sol	1	3/9	Köşe (223)	-	0,5	0	-	
	14 Sol	0	0/4	-	-	-	0	-	
	23 Sol	1	1/6	Köşe (537)	-	0,5	0	-	
	24 Sol	0	0/4	-	-	-	0	-	
C	25 Sol	1	3/9	Köşe (592,594)	-	1	0	-	
C	25 Sağ	1	6/7	Köşe (604,597)	-	0,5	0	-	
C	26 Sol	0	0/3	-	-	-	0	-	
C	26 Sağ	2	4/6	Köşe (621,628)	var	2	3	var	
C	27 Sol	2	2/6	Köşe (633)	var	3	2*	var	Y, PK, SY
	28 Sol	0	0/4	-	-	-	0	-	
	29 Sol	0	0/6	-	-	-	0	-	
B	33 Sağ	1	3/6	Köşe (796)	-	0,5	0	-	
B	34 Sol	0	0/6	-	-	-	0	-	
B	34 Sağ	3	6/6	Köşe (813)	-	8	2**	-	
B	35 Sol	2	4/6	Köşe (825)	-	4	0	-	
	40 Sol	1	7/9	Köşe (952)	-	1	0	-	
	41 Sol	-	-	-	-	-	-	-	
	41 Sağ	1	3/3	Köşe (988,990)	-	0,5	1	-	
A	44 Sol	3	5/6	Köşe (1039)	-	5	0	-	TK
A	44 Sağ	1	5/9	Köşe (1060)	-	1	0	-	
A	45 Sol	1	5/6	Köşe (1065/63)	-	0,5	1	-	Y
A	45 Sağ	4	2/2	-	var	-	1	-	K, Y, TK
A	46 Sol	1	2/6	Köşe (1089)	-	0,3	0	-	
A	46 Sağ	0	0/7	-	-	-	0	-	
A	47 Sol	-	-	-	-	-	-	-	K,Y,TK,SY
A	47 Sağ	0	0/6	-	-	-	1	-	
	48 Sol	0	0/6	-	-	-	0	-	
	52 Sağ	1	1/1	-	-	1	0	-	
	53 Sol	0	0/2	-	-	-	0	-	
	56 Sol	1	2/4	Köşe (1335)	-	0,5	0	-	

* Ayak 27 Sol kazık başlığında Tmaks 2 mm'den küçüktür, fakat çatlaklar bütün başlık boyuncadır

** çatlaklar kazık başlığında 1 mm'den küçüktür (KD köşesi hariç / 0.0-7.5 mm)

ntop : kontrol edilen kazık sayısı

n : tali/ana çatlak barındıran kazık sayısı

dağılma : donatılı betonun dağılması

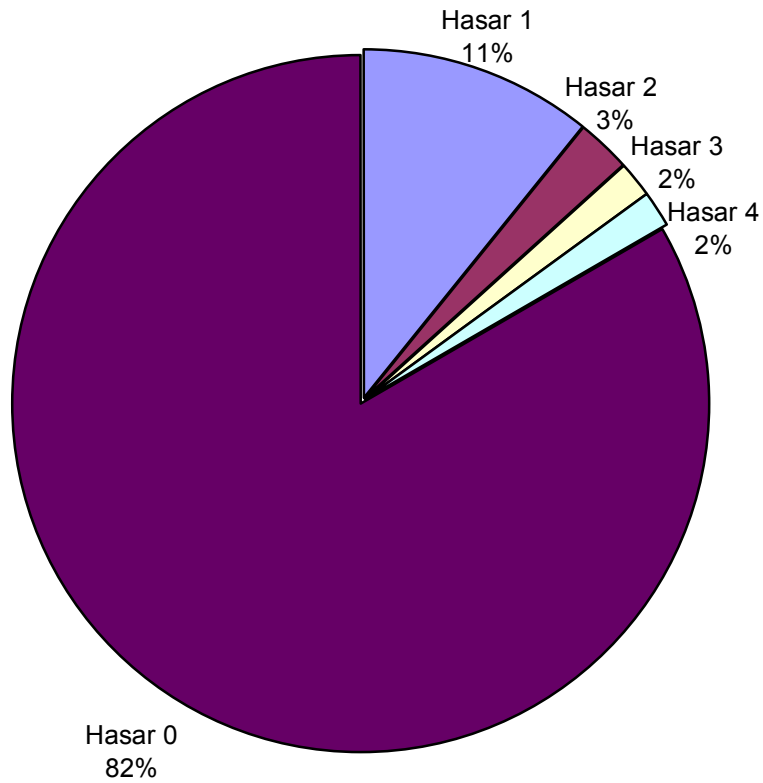
Tmaks : maksimum çatlak genişliği

- Yapısal başlık hasarı, kazıkta oluşan hasarla birebir bağlantılı değildir (örn. Ayak 44 Sol, Ayak 45 Sağ, Ayak 47 Sol). Bu durum hasar görmemiş kazıkların yenilmiş veya hasar görmüş kazıklara göre, başlığa daha büyük eksenel kuvvetler iletebileceği görüşüyle açıklanabilir.

Depremde en ağır yapısal hasara uğrayan Ayak 26 Sağ, 27 Sol, 34 Sağ, 35 Sol, 44 Sağ ve 45 Sol'a ilişkin görsel kontrol sonuçları Ek-H'de gösterilmiştir.

Tablo 6.7'de, Ocak–Aralık 2000 tarihleri arasında yapılan araştırmaların sonuçlarına göre, 12 Kasım 1999 depreminde hasar gören temeller özetlenmiş ve kazıklar ve kazık başlıklarında oluşan hasar sınıflandırılmıştır.

Kalın karakterlerle yazılanlar depremde önemli yapısal hasara uğramış ayaklardır. Bu kategoriye ait 7 adet temel vardır. Bu da toplam temel sayısının %6'sına karşılık gelir. Hasar dağılımı Şekil 6.11'de gösterilmiştir.



Şekil 6.11 Temellerdeki Hasar Dağılımı

Tablo 6.7 12 Kasım 1999 Depreminde Hasar Gören Temeller

Ayak	Yapılan Araştırmalar	Kazık				Kazık Başlığı	
		Hasar	n/n _{top}	en çok hasar gören	Dağılma	Hasar	Dağılma
10 Sol	T,PK,TK,K,Y,GK	1	3/9	Köşe (223)	-	0	-
23 Sol	T,GK	1	1/6	Köşe (537)	-	0	-
25 Sol	T,Y,GK	1	3/9	Köşe (592,594)	-	1	-
25 Sağ	T,Y,GK	1	6/7	Köşe (604,597)	-	0	-
26 Sağ	T,Y,GK	2	4/6	Köşe (621,628)	var	3	var
27 Sol	T,PK,SY,Y,GK	2	2/6	Köşe (633)	var	2	var
33 Sağ	T,Y,GK	1	3/6	Köşe (796)	-	0	-
34 Sağ	T,Y,GK	3	6/6	Köşe (813)	-	2	-
35 Sol	T,Y,GK	2	4/6	Köşe (825)	-	0	-
40 Sol	T,Y,GK	1	7/9	Köşe (952)	-	0	-
41 Sağ	T,Y,GK	1	3/3	Köşe (988,990)	-	1	-
44 Sol	T,TK,K,Y,GK	3	5/6	Köşe (1039)	-	0	-
44 Sağ	T,Y,GK	1	5/9	Köşe (1060)	var	0	var
45 Sol	T,Y,GK	1	5/6	Köşe (1065/63)	var	1	var
45 Sağ	T,TK,K,Y,GK	4	2/2	-	var	1	-
46 Sol	T,Y,GK	1	2/6	Köşe (1089)	-	0	-
47 Sol	T,TK,K,SY,Y	4	-	-	-	1	-
47 Sağ	T,Y,GK	0	0/6	-	-	1	-
52 Sağ	T,Y,GK	1	1/1	-	-	0	-
56 Sol	T,Y,GK	1	2/4	Köşe (1335)	-	0	-

n_{top} : Kontrol edilen kazık sayısı

T : Topoğrafik Araştırma

TK : Tekil Kuyu Deneyi

PK : Paralel Kuyu Deneyi

n : Tali/ana çatlak barındıran kazık sayısı

K : Karot Alınması

Y : Yankı Deneyi

SY : Serbest Yükselim Deneyi

7. SONUÇLAR

1. Otoyol güzergahının geçtiği Asarsu vadisi yaklaşık doğu-batı uzanımlı olup, bölgede Geç Kretase'den beri gelişen tektonik akımlar ve Asarsu deresi tarafından şekillendirilmiştir. Daha güncel olarak, geniş heyelanlar vadinin çizgisel yapısını bozmuştur. Neotektonik dönemde gelişen, KAFZ'ye ait doğrultu atımlı faylar ve bu faylara verev uzanan ikincil faylar ana yapısal unsurlardır. Vadide anakayayı oluşturan metamorfik birimler, bölgedeki yoğun tektonizma nedeniyle oldukça kırıklı bir yapıdadırlar. Asarsu deresi anakayayı oyarak vadi eksenini boyunca kalın bir alüvyon çökelimine neden olmuştur. Alüvyon çökelleri içerisindeki ince daneliler katı-çok katı, iri daneliler ise sıkı-çok sıkı'dır. Birimlerin taşıma güçleri azdır. Km 6+449 – km 8+803 arasında, viyadük ile geçilen kısımda, yapıya etkiyecek deprem yüklerinin büyüklüğü, birimlerin taşıma güçlerinin azlığı ve Asarsu deresinin varlığı nedeniyle kazıklı temeller inşa edilmiştir. Buna rağmen, bölgede meydana gelen 7.2 büyüklüğündeki deprem Viyadük-1'e ağır hasar vermiştir.
2. Km 12+200 – 14+100 arasında yer alan geniş, rotasyonel Kom Heyelanı otoyol güzergahını olumsuz yönde etkilemektedir. Heyelanın yenilme sonrası geometrisi ve moloz kaymasının konsolide olmuş yapısı, ana kayma kütlelerinin duraylı bir hale geldiğini ve yeniden harekete geçmeyeceğini gösterir. Fakat Asarsu deresinin heyelan topuğunu oyması nedeniyle oluşan daha güncel kayma zonları, otoyol için potansiyel hasar alanlarıdır ve yoğun yağış, sel, deprem veya yarma çalışmaları sonucunda harekete geçme tehlikesi bulunmaktadır. Asarsu vadisinin kuzey ve güney yamaçlarında daha küçük ölçeklerde birçok kütle hareketi yer almaktadır. Bu alanlardan uzaklaşmak için vadi yatağına alınan otoyol güzergahında Asarsu deresinin kapalı menfez içerisinde alınarak geçilmesi gerekmektedir.

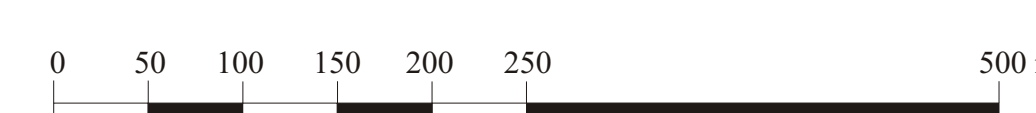
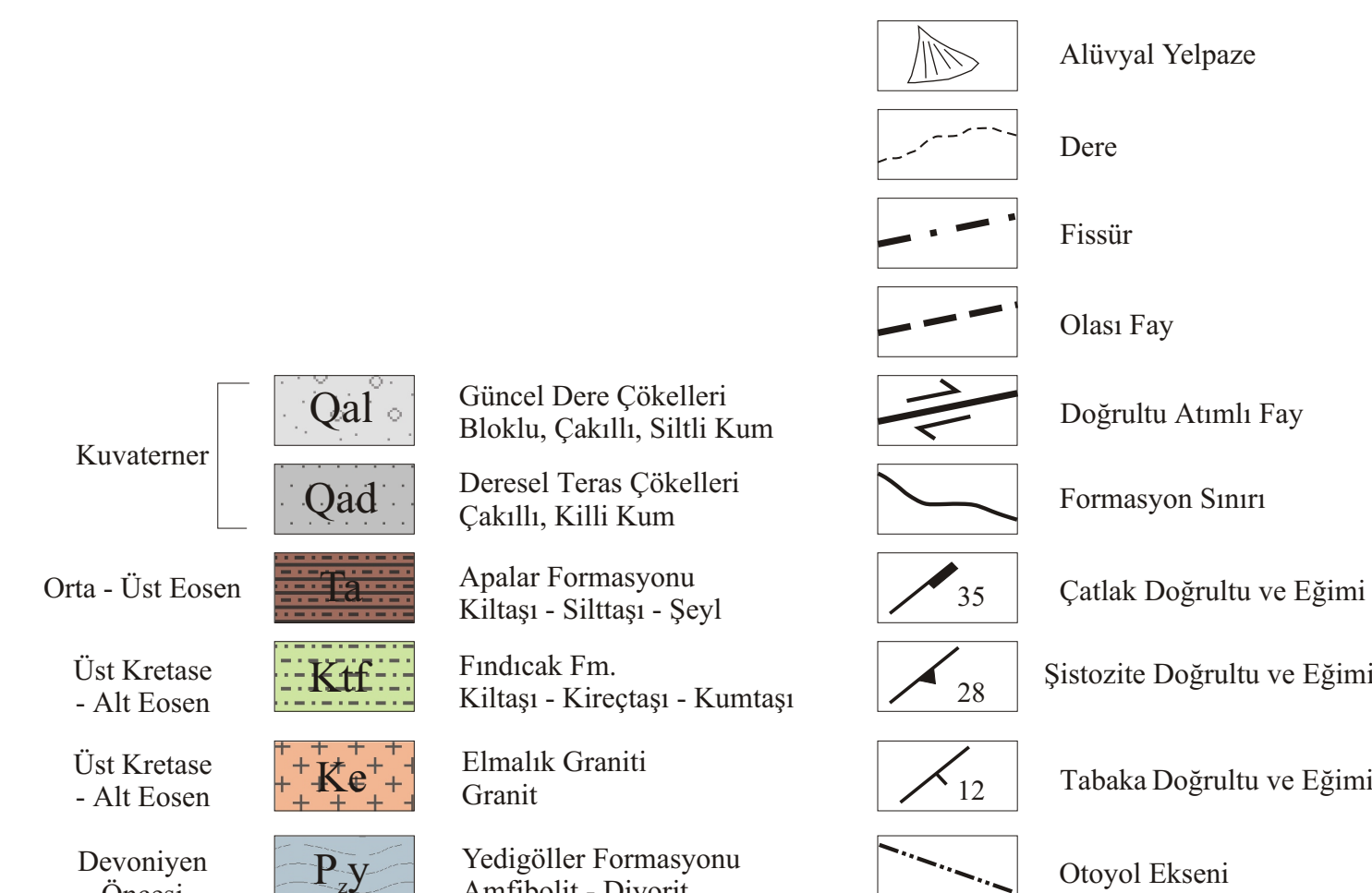
3. 12 Kasım 1999 depreminde, Viyadük-1’de oluşan hasarın belirlenmesi için yapılan sismolojik ve topografik bilgilere göre; önemli zemin deformasyonları ana fay kırığı boyunca gerçekleşmiştir. Viyadüğün diğer kısımları daha küçük hareketlere maruz kalmışlardır. Benzer jeolojik, litolojik ve geoteknik özelliklere sahip olan ayaklarda, ana fay kırığına olan uzaklıklara bağlı olarak hasar oranı açısından farklılıklar gözlenmektedir. Bu genel kurala aykırı olarak, Ayak 26 Sağ ve Ayak 27 Sol göze çarpmaktadır. Bu iki ayak temelinde oluşan önemli yapısal hasarın nedeni de, bölgede deprem sırasında oluşan zemin fissürleridir.
4. Ayak temelleri kırık zonuna olan uzaklıklarına bağlı olarak değişik yoğunlukta ve büyüklükte yapısal hasar görmüşlerdir. Ana fay kırığı boyunca konumlanmış ayak temelleri; Ayak 45 Sağ ve Ayak 47 Sol’un temellerinin altında yer alan geniş çaplı kazıklar belirli bir derinliğe kadar zemin hareketlerine maruz kalmışlardır. Kazıkların yer değiştirmeleri komplekstir ve teorik bazda analiz edilebilmeleri zordur. Kazıklardaki hasar kazık boyunca herhangi bir derinlikte olabilir.
5. Yüzey kırığından uzaklaştıkça, yapısal hasarın daha iyi tanımlanmış dokularda ve derinliklerde olduğu gözlenmiştir. Her durumda hasarın büyük bir bölümü kazık shaftının üstten 10 metrelik bölümünde gerçekleşmiştir. Kazık başlığı temel hasarının belirlenebilmesi için iyi bir kanıttır. Köşelerdeki kazıklar en ağır hasar gören kazıklardır. Kazıkların merkez kısımları en ağır hasar gören yerleri değildir.
6. 12 Kasım 1999 Düzce depremi nedeniyle Viyadük-1’de oluşan hasarda belirleyici ana etken; ayakların ana fay kırığına olan uzaklıklarıdır.

KAYNAKLAR

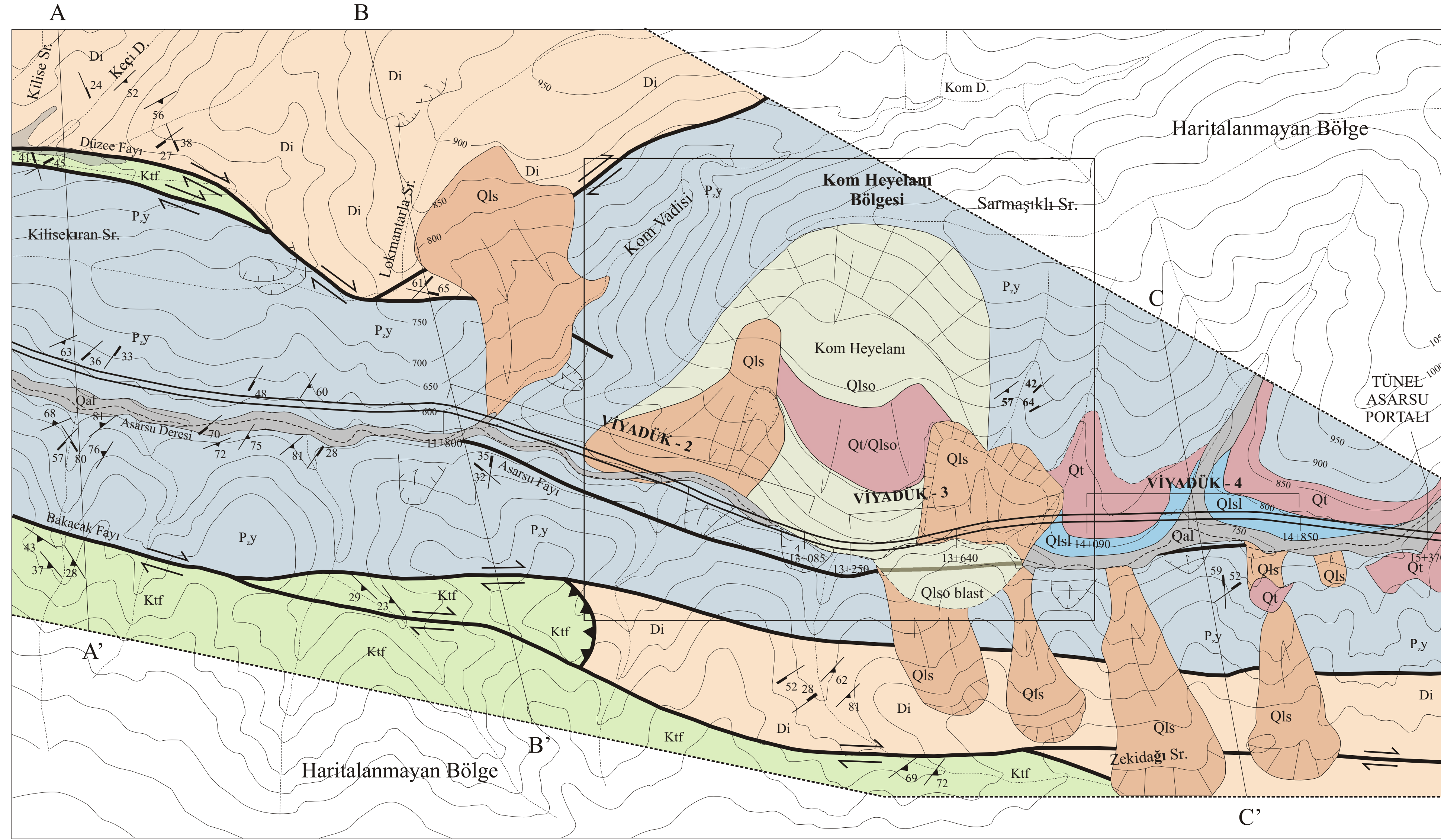
- [1] **Abdülcelamoğlu, Ş.**, 1959. Almacıkdağı ile Mudurnu ve Göynük civarının jeolojisi, İÜ Fen Fak. Monografileri, **14**
- [2] **Astaldi Rapor**, 1986. Anadolu otoyolu Gümüşova-Gerede Otoyolunun geçeceği genel güzergah hakkında öneriler ve proje ilerleme safhalarına ilişkin teklif, No.901, Bolu, Turkey.
- [3] **Astaldi Rapor**, 1990. Geological Report: Preliminary Design, Anatolian Motorway Gümüşova-Gerede Stretch, No.2014, Bolu, Turkey.
- [4] **Astaldi Rapor**, 1990. Hydrological Study, Anatolian Motorway Gümüşova-Gerede Stretch, No.2004, Bolu, Turkey.
- [5] **Astaldi Rapor**, 1991. Gotechnical Report, Anatolian Motorway Gümüşova-Gerede Stretch, Viaduct-1, Bolu, Turkey.
- [6] **Aydın, M., Serdar, S., Şahintürk, Ö., Yazman, M., Çokuğraş, R.**, 1987. Çamdağ-Sünnicedağ yöresinin jeolojisi, TJK Bülteni, **30**, 1-14.
- [7] **Barka, A.**, 1993. The North Anatolian Fault Zone, Anneles Tectonicae, **3**, 27-39.
- [8] **Barka A. And Erdik, M.**, 1993. Site specific fault rupture hazard investigation for the Viaduct no.1 of the Gümüşova-Gerede Motorway
- [9] **Bieniawski, Z.T.**, 1975. Engineering classification of jointed rock masses, *The Civil Engineering Meeting*, S.Africa.
- [10] **Bieniawski, Z.T.**, 1975. The point load test in geotechnical practice, *Engineering Geology*, **9**, 1-11.
- [11] **Canik, B.**, 1980. Bolu sıcak su kaynaklarının hidrojeoloji incelemesi, Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, **1**, 74
- [12] **Cerit, O.**, 1990. Bolu masifinin jeolojik ve tektonik incelemesi, *Doktora Tezi*, H.Ü. Fen Bil. Enstitüsü, Ankara.
- [13] **Dalgıç, S.**, 1994. Anadolu Otoyolu Bolu Dağı geçişinin mühendislik jeolojisi, *Doktora Tezi*, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [14] **Deere, D.U.**, 1968. Geological considerations of rock mechanics in engineering practice, John Wiley, London
- [15] **Erguvanlı, K.**, 1981. Mühendislik Jeolojisi, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul.

- [16] **Gökçeoğlu, C., Ercanoğlu, M.**, 2001. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler, *Yerbilimleri*, **23**, 189-206.
- [17] **Gözübol, A.M.**, 1978. Mudurnu-Dokurcun-Abant alanının jeoloji incelemesi ve Kuzey Anadolu Yarılmının yapısal özellikleri, *Doktora Tezi*, İ.Ü. Fen Bil. Fak. Tatbiki Jeoloji Kürsüsü, İstanbul
- [18] **Hoek, E.**, 1971. Rock slope stability. Proc 1st Australia-New Zealand Geomech. Conference. Melbourne, **1**.
- [19] **Keefer, D.K.**, 1984. Landslides caused by earthquakes, Geological Society of America Bulletin, **95**, 426-421.
- [20] **Ketin, İ.**, 1966. Anadolu'nun tektonik birlikleri, MTA Enstitüsü Dergisi, **66**, 20-34.
- [21] **Ketin, İ.**, 1967. Bolu, Gerede, Mengen ve Yığılca bölgesindeki paleozoyik teşekküllere ait jeolojik rapor, TPAO Arama Grubu, **379**, Ankarai
- [22] **Ketin, İ.**, 1969. Kuzey Anadolu Fayı hakkında, MTA Enstitüsü Dergisi, **72**, 1-27.
- [23] **Ketin, İ.**, 1976. San Andreas ve Kuzey Anadolu Fayları arasında bir karşılaştırma, TJK Bülteni, **19**, 149-154.
- [24] **Lettis, W. ve Barka A.**, 2000. Fay kırığı riskinin jeolojik tesbiti, Astaldi S.p.A.- Bayındır Report, No.45.110/R/2270
- [25] **Pane, V.**, 2001. Viaduct-1 damage assessment of foundations, Astaldi S.p.A.- Bayındır Report, 45.110/R/2282
- [26] **Rossetti, R.**, 2001. Geological Report, Anatolian Motorway Gümüşova-Gerede Section Stretch 2D, Astaldi internal report, Bolu, Turkey
- [27] **Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y.**, 1981. Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach, Tectonophysics, **75**, 181-241
- [28] **Varnes, D.J.**, 1978. Slope movement types and process, Landslides Special Report, 176. Transportation Research Board, National Academy of Sciences. 11-33, Washington
- [29] **Yılmaz, Y., Gözübol, A., Tüysüz, O., Yiğitbaş, E.**, 1981 Abant-Dokurcun arasında Kuzey Anadolu Fay Zonunun kuzey ve güneyinde kalan tektonik birliklerin jeolojik evrimi, İÜ Yerbilimleri Dergisi, **2**, 131-261

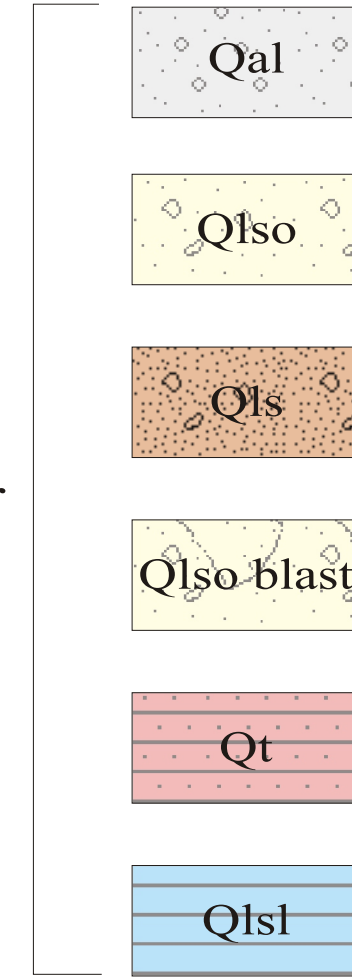
1



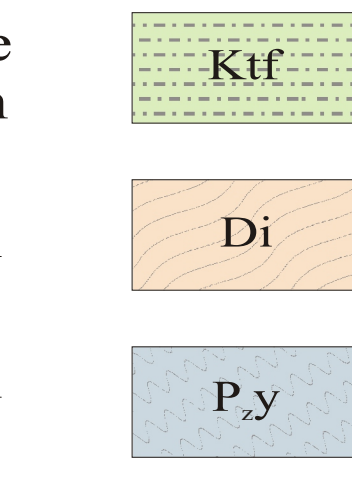
<p>GÜMÜŞOVA - GEREDE ARASI ASARU VADİSİNİN JEOLOJİ HARİTASI VE OTOYOL GÜZERGAHI BOY KESİTİ (OTOYOL Km 5+950 - 9+350; BOY KESİTİ Km 6+450 - Km 8+800)</p>		
YAPAN	SERKAN AKSU	EK - A
ÖLÇEK	1/4000	
TARİH	EKİM 2002	



Kuvaterner

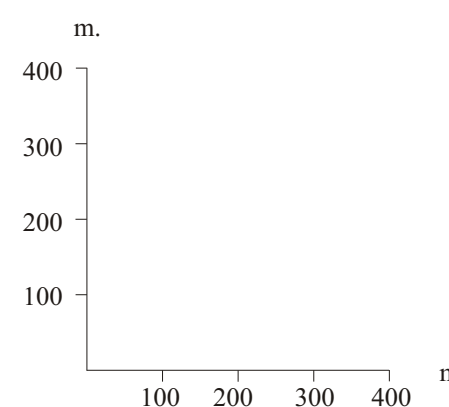
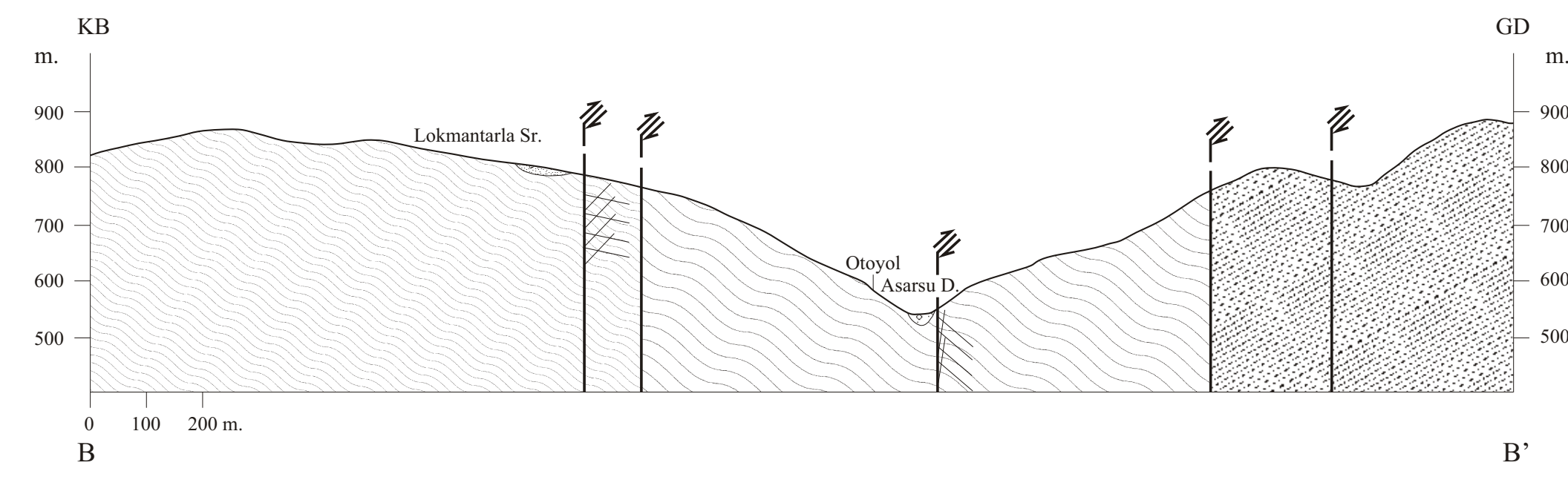
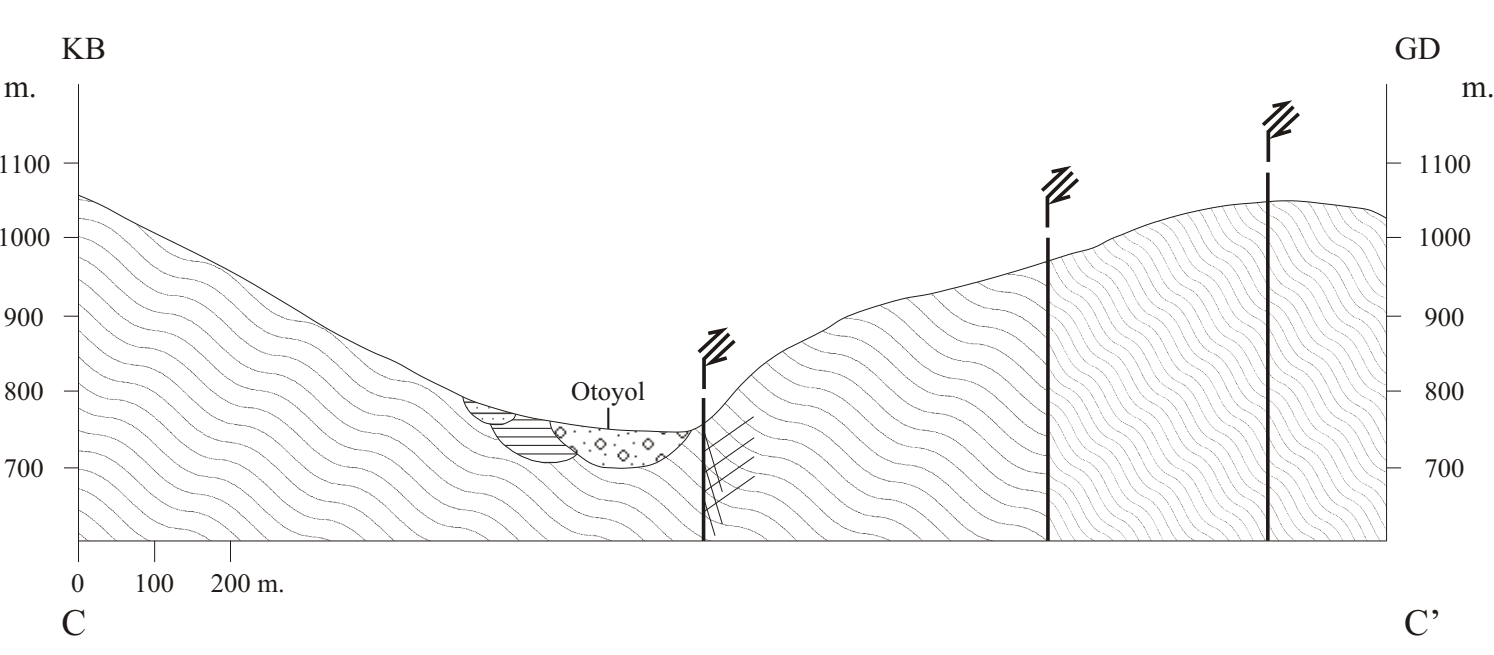
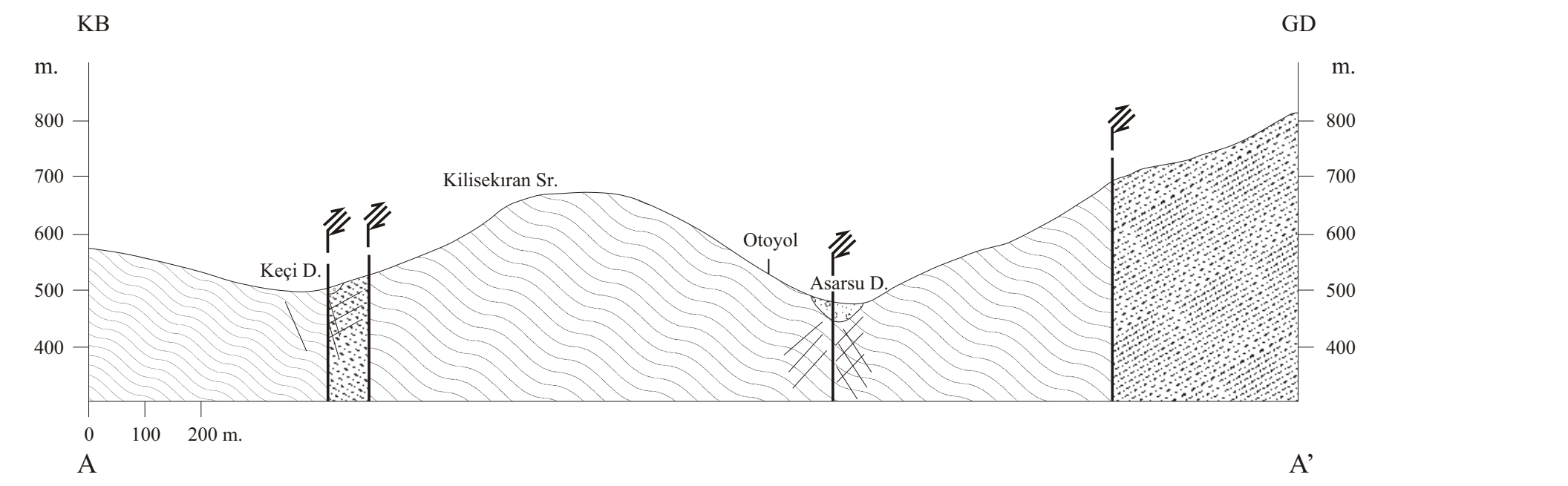


Üst Kretase - Alt Eosen
Devoniyen
Devoniyen Öncesi

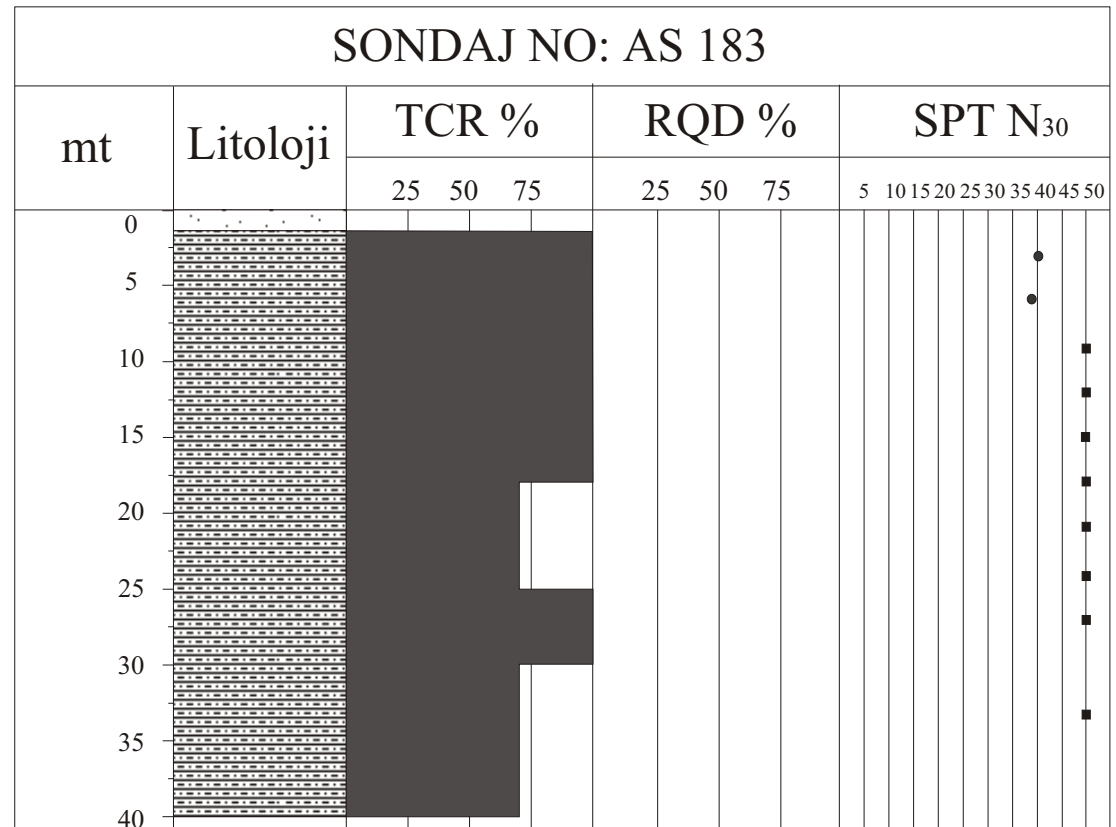
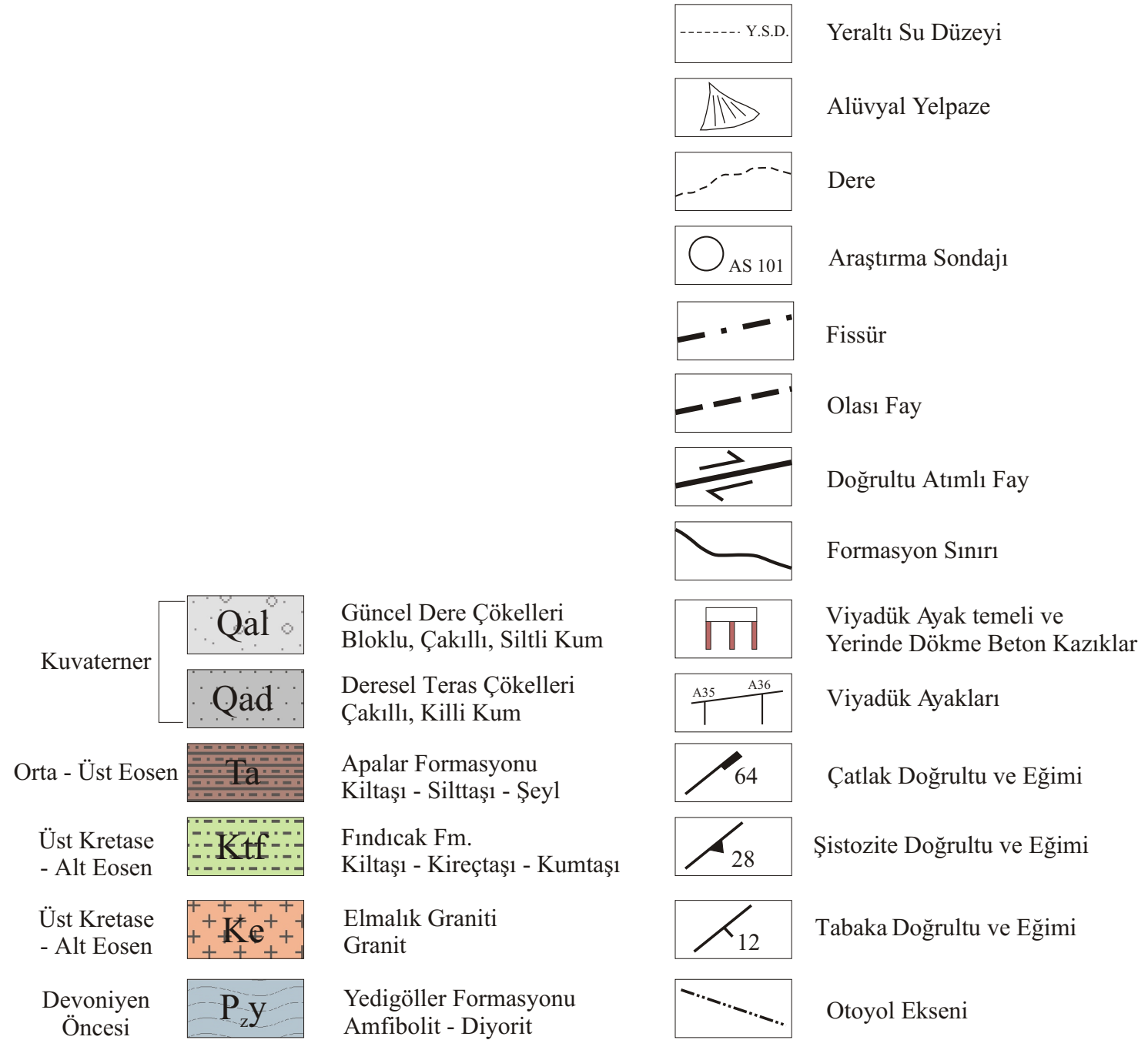
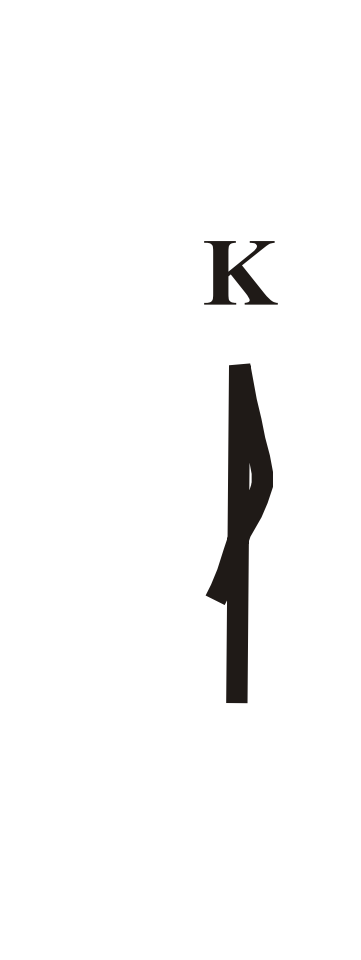
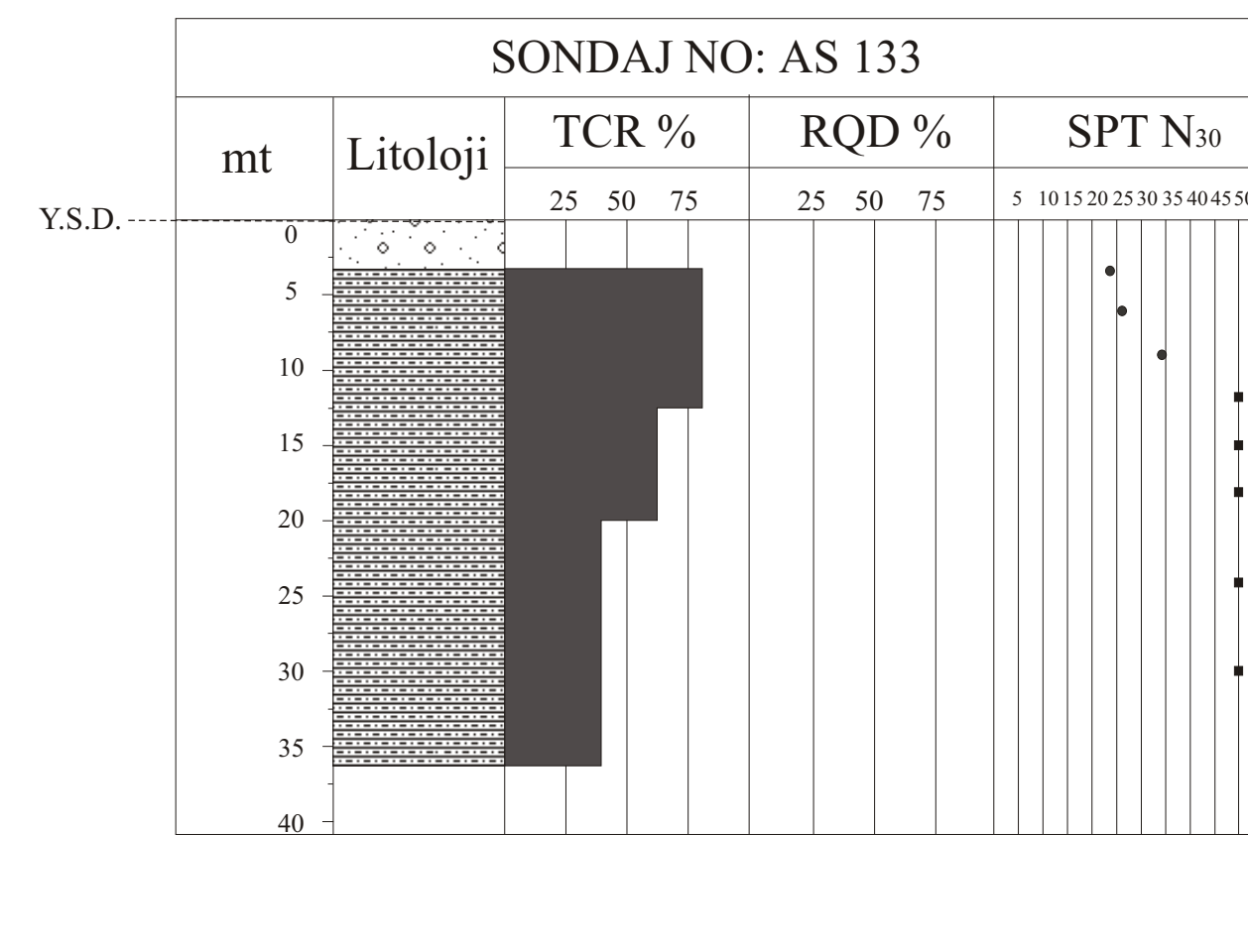
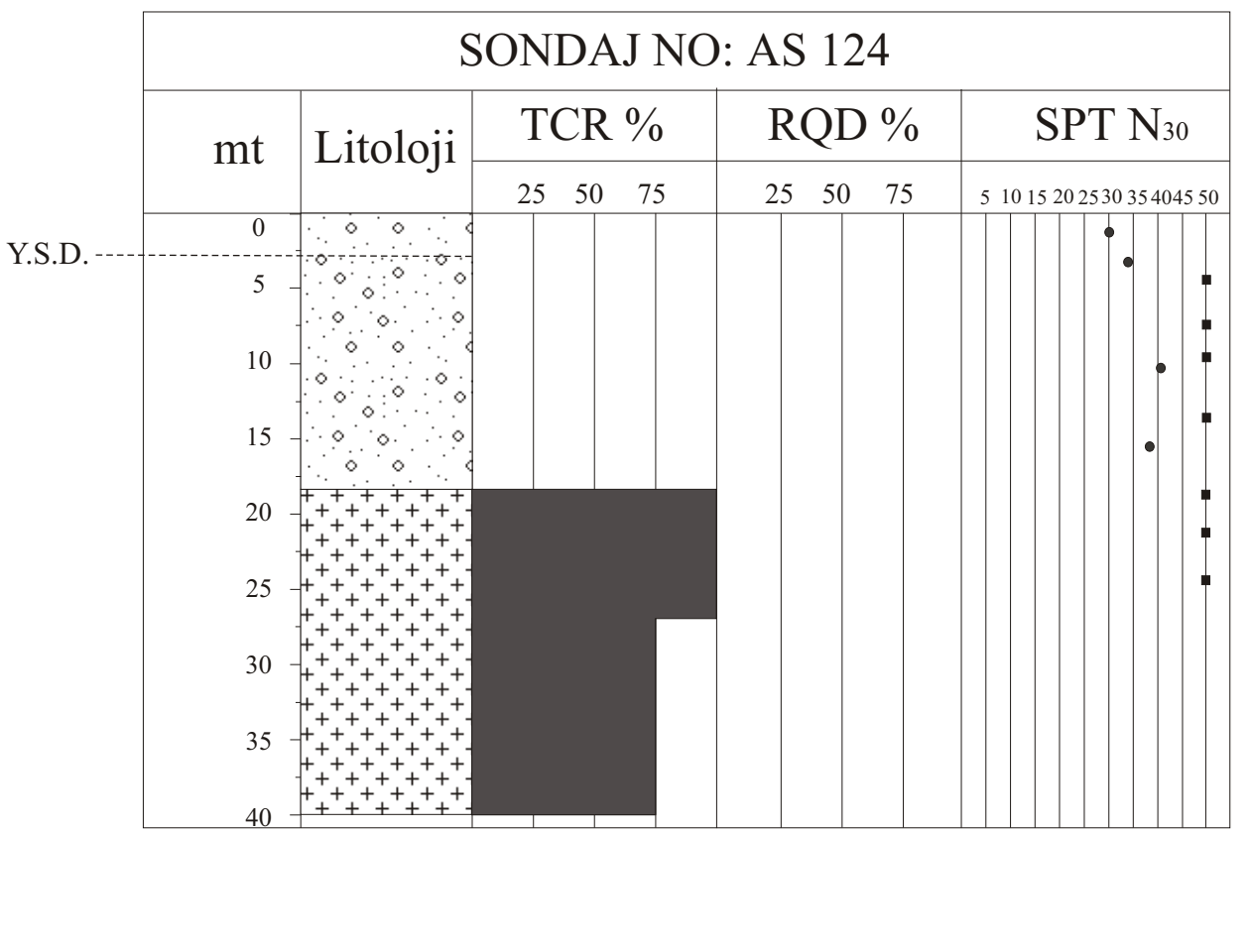
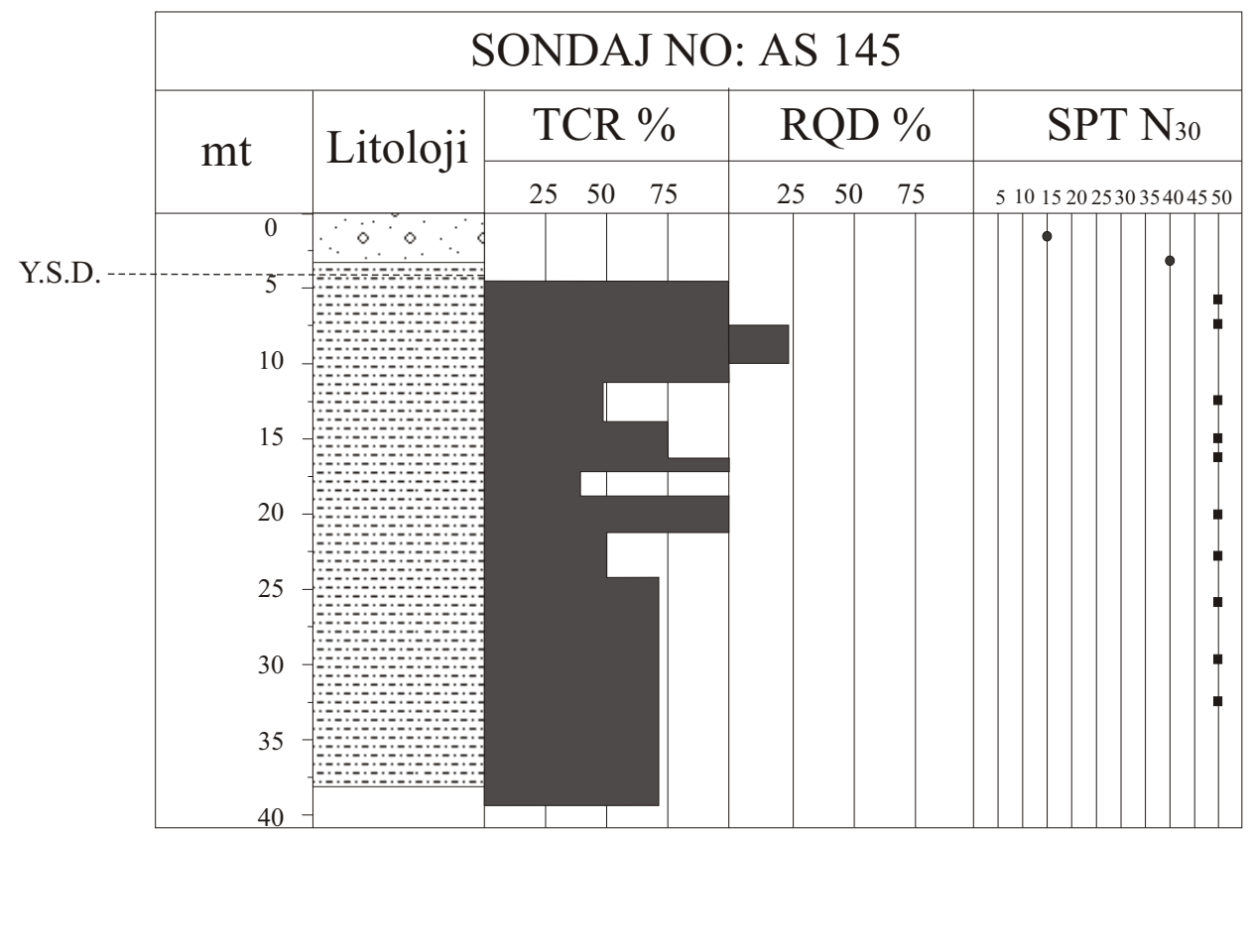


Alüvyon
Heyelan Ana Kayma Kütlesi
Eski kayma molozunun yeniden hareketi sonucu oluşan malzeme
Ana Kayma Kütlesi önündeki moloz çığı malzemesi
Alüvyal Teras Çökelleri
Heyelan Barajı Gölü Çökelleri
Fındıcak Formasyonu
Kıltaşı - Kumtaşı - Kireçtaşı
İkizoluk Formasyonu
Sleyt - Kalkışt - Şeyl - Kıltaşı
Yedigöller Formasyonu
Amfibolit - Diyorit

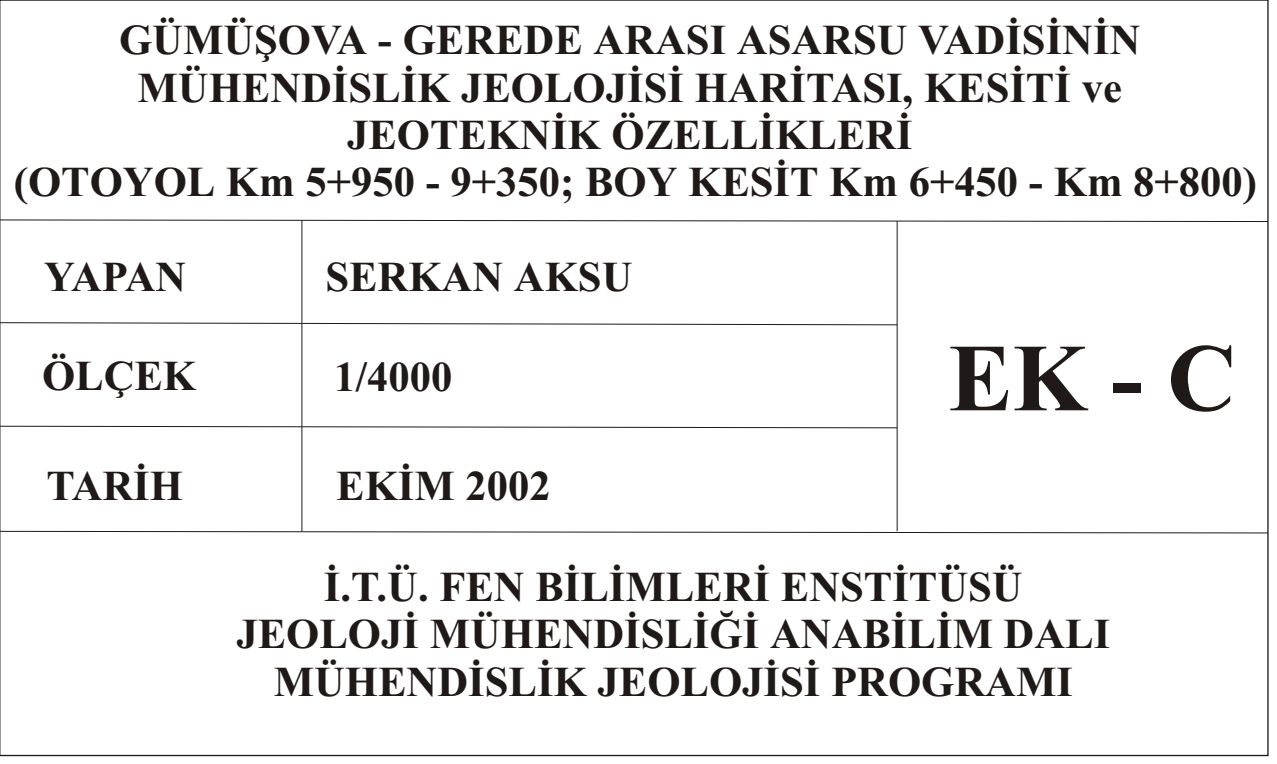
SİMGELER

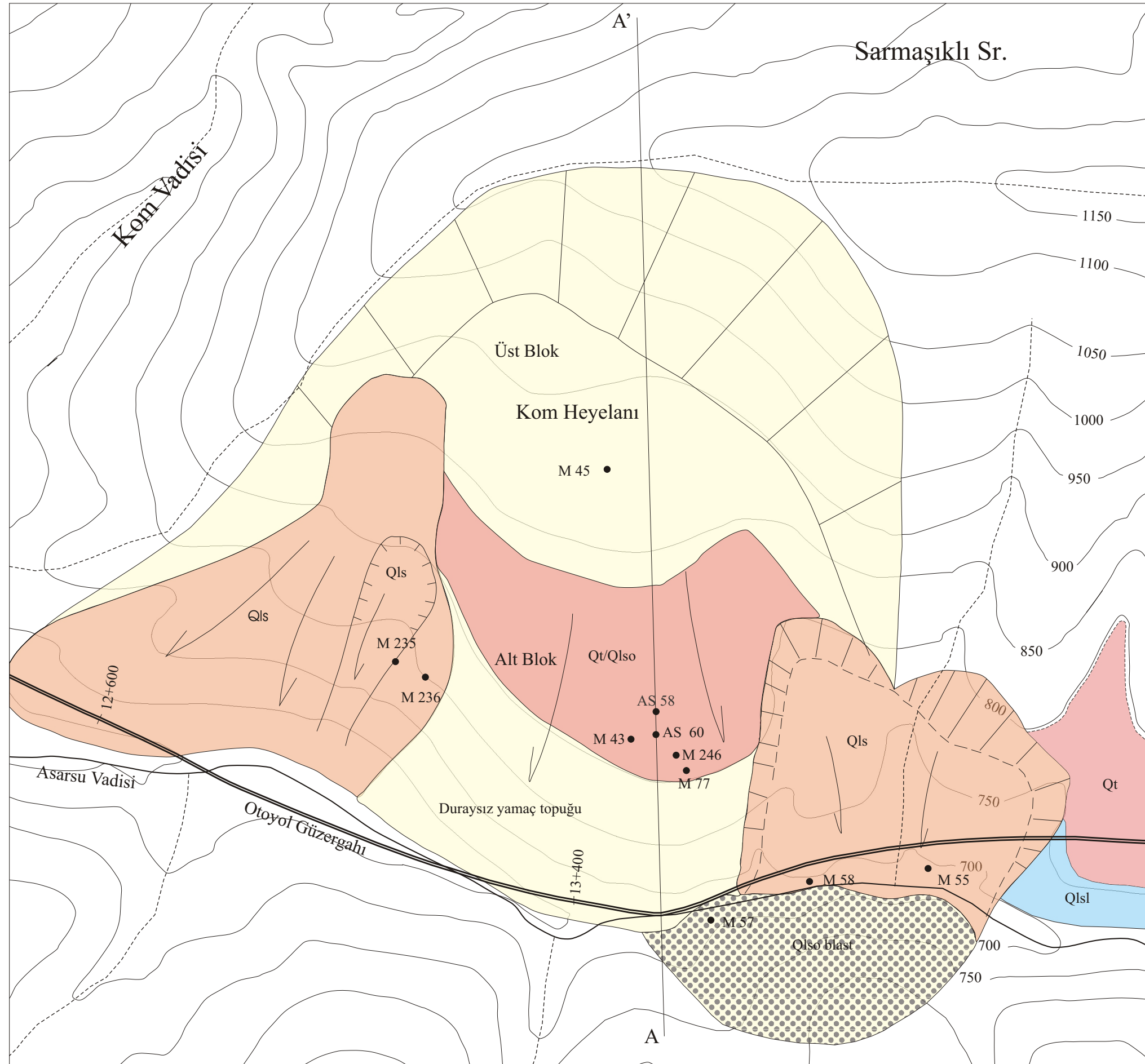


GÜMÜŞOVA - GEREDİ ARASI ASARSU VADİSİNİN JEOLOJİ HARİTASI VE ENİNE KESİTLERİ (OTOYOL Km 9+350 - Km 15+370)		
YAPAN	SERKAN AKSU	EK - B
ÖLÇEK	1/10000	
TARİH	EKİM 2002	
İ.T.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI MÜHENDİSLİK JEOLOJİSİ PROGRAMI		



SONDAJ NO: AS 188																		
mt	Litoloji	TCR %				RQD %				SPT N ₃₀								
		25	50	75		25	50	75		5	10	15	20	25	30	35	40	45
0																		
5																		
10																		
15																		
20																		
25																		
30																		
35																		
40																		





AS 58 • Araştırma sondajı (1990-1991)

M 45 • Araştırma sondajı (1997-2000)

Kayma tepesi (Ayna)

Kayma hareketi yönü

A A' Enine kesit lokasyonu

Qlso Kom heyelanı ana kayma kütlesi

Qls Eski kayma molozunun yeniden hareketi sonucu oluşan malzeme

Qlso blast Ana kayma kütlesi önündeki moloz çığı malzemesi

Qt Alüvyal teras çökelleri

Qlsl Heyelan barajı gölü çökelleri

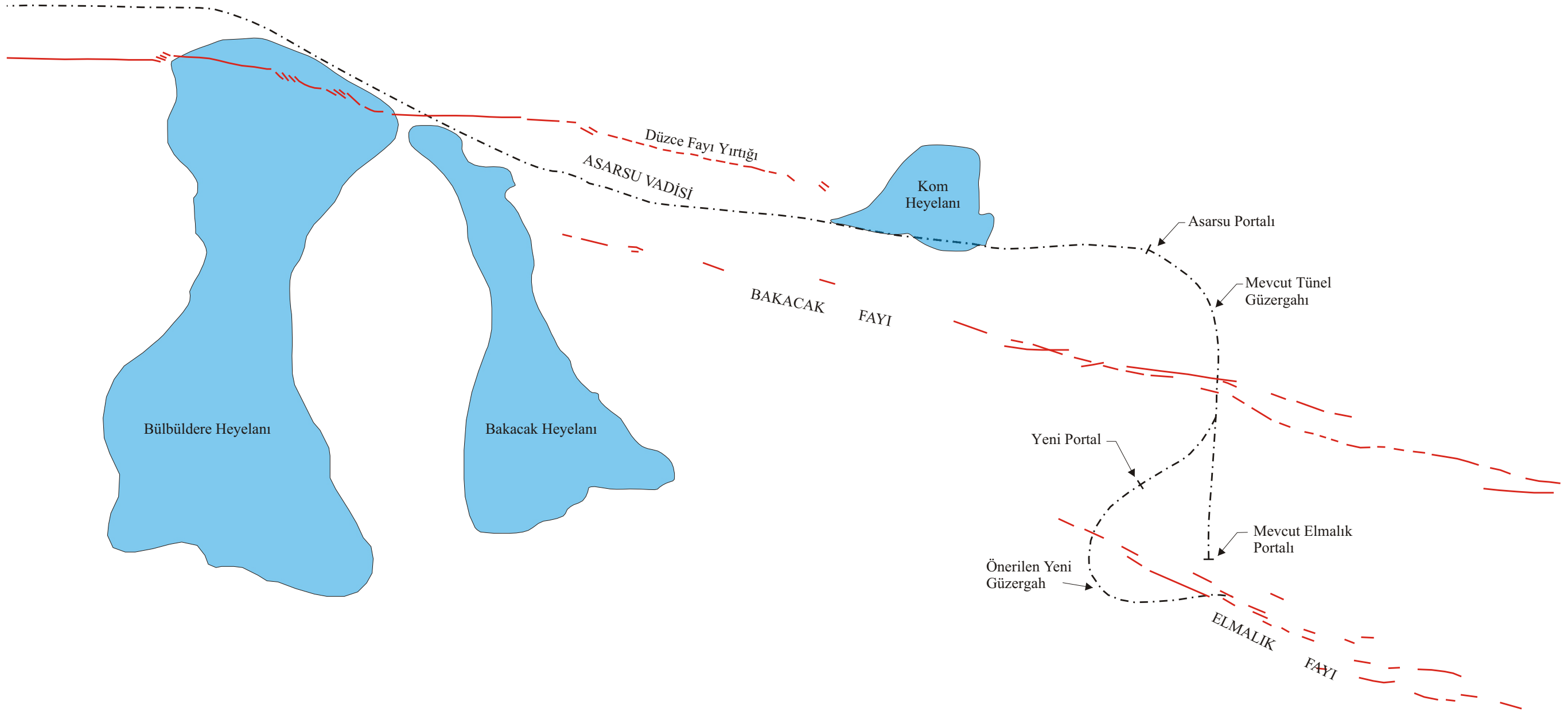
Asarsu Nehri kanalındaki anakaya



GÜMÜŞOVA - GEREDİ ARASI ASARSU VADİSİ
KOM HEYELANI JEOLJİ HARİTASI

YAPAN	SERKAN AKSU	EK - D
ÖLÇEK	1/6500	
TARİH	EKİM 2002	

İ.T.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ PROGRAMI



SİMGELER

- Fay
- Otoyol Güzergahı

0 0.5 1 km



GÜMÜŞOVA - GEREDİ ARASI ASARSU VADİSİ CİVARINDAKİ BÜYÜK HEYELANLARIN PLAN HARİTASI

YAPAN	SERKAN AKSU	EK - F
ÖLÇEK	1/40000	
TARİH	EKİM 2002	

İ.T.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ PROGRAMI















Tablo G.1 Viyadük-1 Piezometre Raporu

SONDAJ NO	OKUMALAR											
	TARİH	TARİH	TARİH	TARİH	TARİH	TARİH	TARİH	TARİH	TARİH	TARİH	TARİH	TARİH
	20.03.91	26.05.91	26.07.91	09.08.91	10.09.91	25.10.91	04.11.91	09.11.91	11.12.91	24.04.92	16.06.92	26.08.92
AS-101	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-	-	-	-	0,00	-	0,00
AS-120	-	13,00	-	13,00	13,50	-	-	-	-	13,33	-	13,15
AS-121	-	-	0,00	0,00	0,85	-	1,50	-	-	0,40	-	Çıkartıldı
AS-122	-	1,50	2,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AS-123	-	-	10,70	10,80	-	-	11,00	-	-	10,50	-	10,40
AS-124	-	-	-	2,80	2,80	-	-	-	-	-	-	Kapalı
AS-125	-	4,30	-	4,00	4,30	3,90	-	4,00	-	4,05	-	4,17
AS-126	-	-	-	6,70	6,90	7,20	-	7,00	-	6,40	6,50	7,65
AS-128	-	-	-	2,00	2,40	2,50	-	2,50	-	2,38	-	-
AS-129	-	-	-	1,70	1,90	2,00	-	2,00	-	1,68	-	2,00
AS-130	-	-	1,70	1,60	1,70	-	-	2,70	-	1,80	-	2,85
AS-131	-	-	1,50	1,35	1,40	2,00	-	2,00	-	1,60	-	1,90
AS-132	-	-	3,50	3,20	4,00	4,00	-	4,00	-	3,68	-	3,90
AS-133	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,38
AS-135	-	-	5,00	-	3,30	3,70	-	3,60	-	3,45	-	-
AS-136	-	-	3,50	3,50	3,90	4,50	-	4,70	-	4,60	-	3,65
AS-137	-	-	4,00	3,50	1,20	1,50	-	1,50	-	1,12	-	4,85
AS-138	-	-	1,00	1,00	3,70	4,50	-	4,00	-	3,65	-	1,30
AS-139	-	-	3,50	3,60	6,80	7,00	-	-	-	6,70	7,00	3,50
AS-140	-	-	-	6,70	0,70	-	1,00	-	-	0,55	-	7,00
AS-141	-	-	-	0,50	1,70	0,00	1,50	-	-	1,37	1,70	0,90
AS-142	-	-	1,60	1,70	0,70	-	1,00	-	-	-	-	1,65
AS-143	-	-	-	0,60	2,50	-	2,50	-	-	2,40	-	-
AS-144	-	-	-	2,20	0,00	-	0,00	-	-	0,00	-	2,30
AS-145	-	-	-	0,00	3,70	-	-	-	-	3,80	3,75	0,00
AS-147	-	-	-	2,80	6,30	-	6,50	-	-	5,05	-	3,45
AS-148	-	-	-	4,00	-	-	-	-	-	14,05	-	5,50
AS-149	-	-	-	4,80	-	-	-	-	31,50	32,30	-	Çıkartıldı
AS-150	-	-	-	-	1,25	-	1,30	-	-	0,68	34,60	35,40
AS-151	-	-	-	-	-	-	33,00	-	-	34,32	-	-

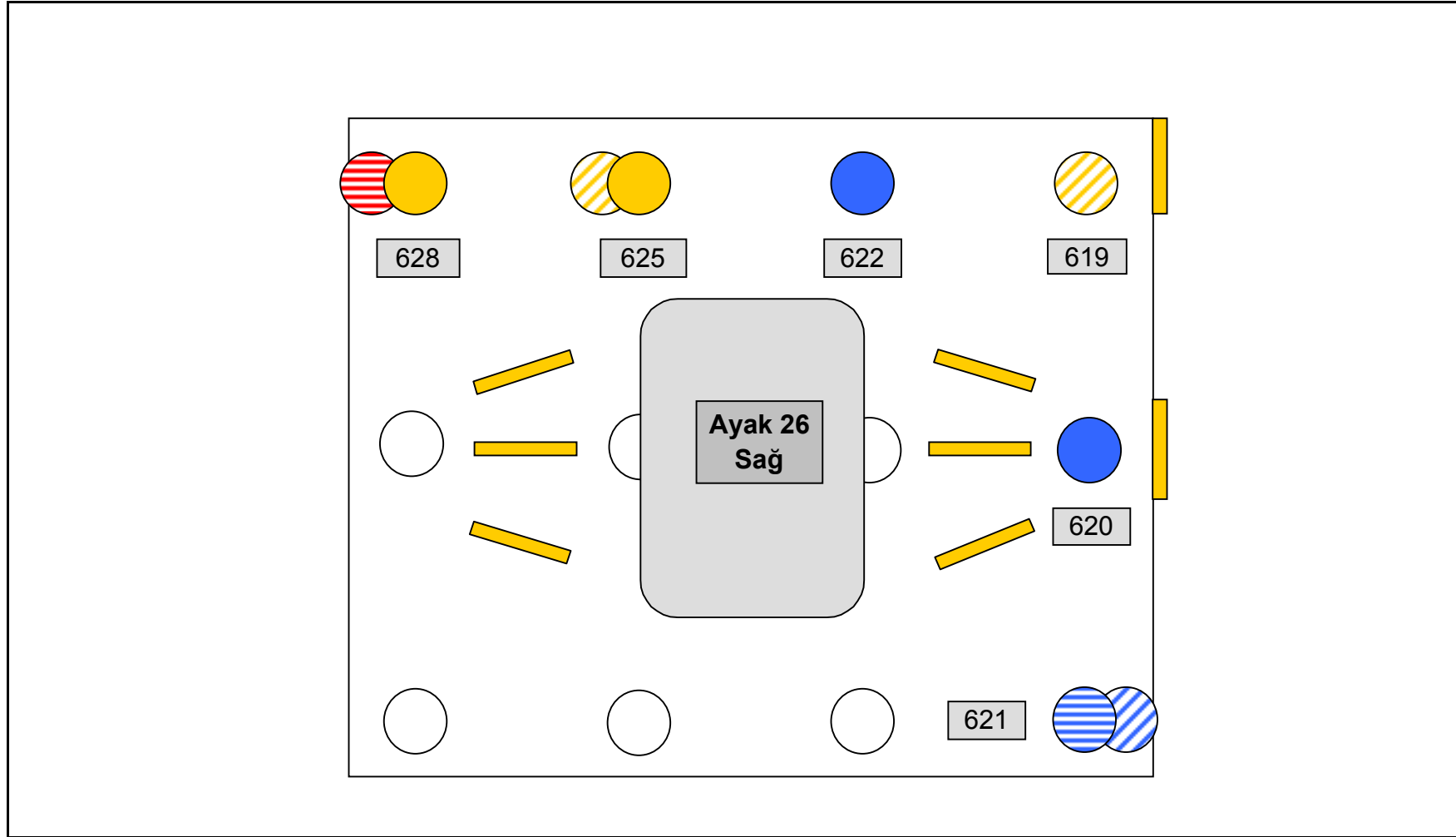
Tablo G.1 Viyadük-1 Pieozometre Raporu

SONDAJ NO	OKUMALAR											
	TARİH	TARİH	TARİH	TARİH	TARİH	TARİH	TARİH	TARİH	TARİH	TARİH	TARİH	TARİH
	20.03.91	26.05.91	26.07.91	09.08.91	10.09.91	25.10.91	04.11.91	09.11.91	11.12.91	24.04.92	16.06.92	26.08.92
AS-155	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AS-156	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AS-157	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AS-158	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,60	-	-
AS-161	-	-	-	-	0,00	-	0,00	-	-	0,00	-	0,00
AS-184	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AS-185	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AS-186	-	-	-	-	-	-	-	8,00	-	8,23	8,60	8,60
AS-189	-	-	-	-	-	-	15,80	-	-	15,45	15,90	16,15

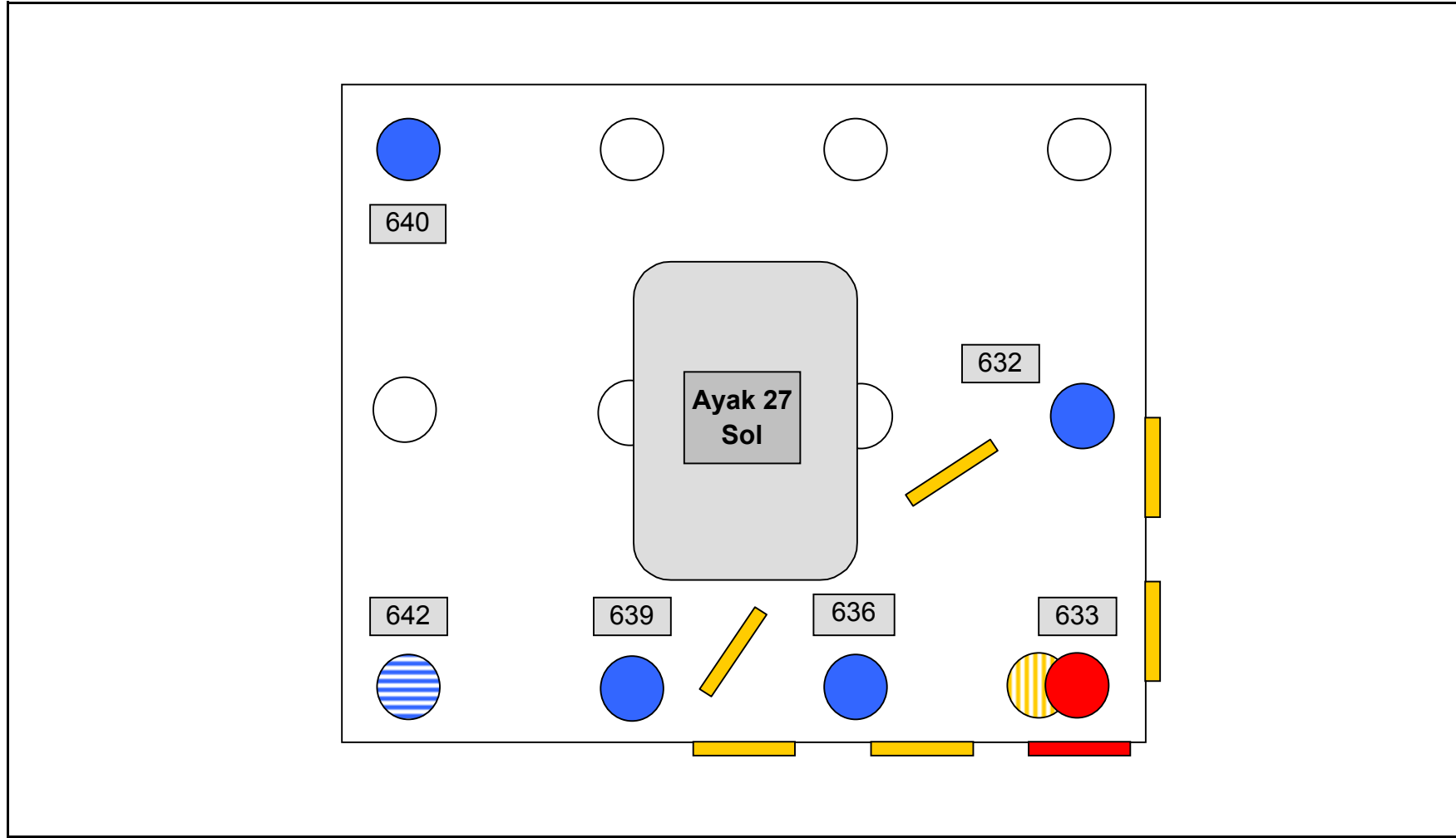
Şekil H.1 Hasar Sınıflandırması

LEJAND			
		ÇATLAK ve DAĞILMA YOK	
			1 (DÜŞEY, YATAY, DİYAGONAL) ÇATLAK
			2 (DÜŞEY, YATAY, DİYAGONAL) ÇATLAK
			> 2 (DÜŞEY, YATAY, DİYAGONAL) ÇATLAK
			> 2 ÇATLAK VE/VEYA BETON KISMEN DAĞILMIŞ
			BETON TAMAMEN DAĞILMIŞ, DONATI AÇIĞA ÇIKMIŞ / KAZIK DÜŞEY DEĞİL
			KAZIK BAŞLIĞI BETONU : DAĞILMIŞ
			KAZIK BAŞLIĞI BETONU : ÇATLAK

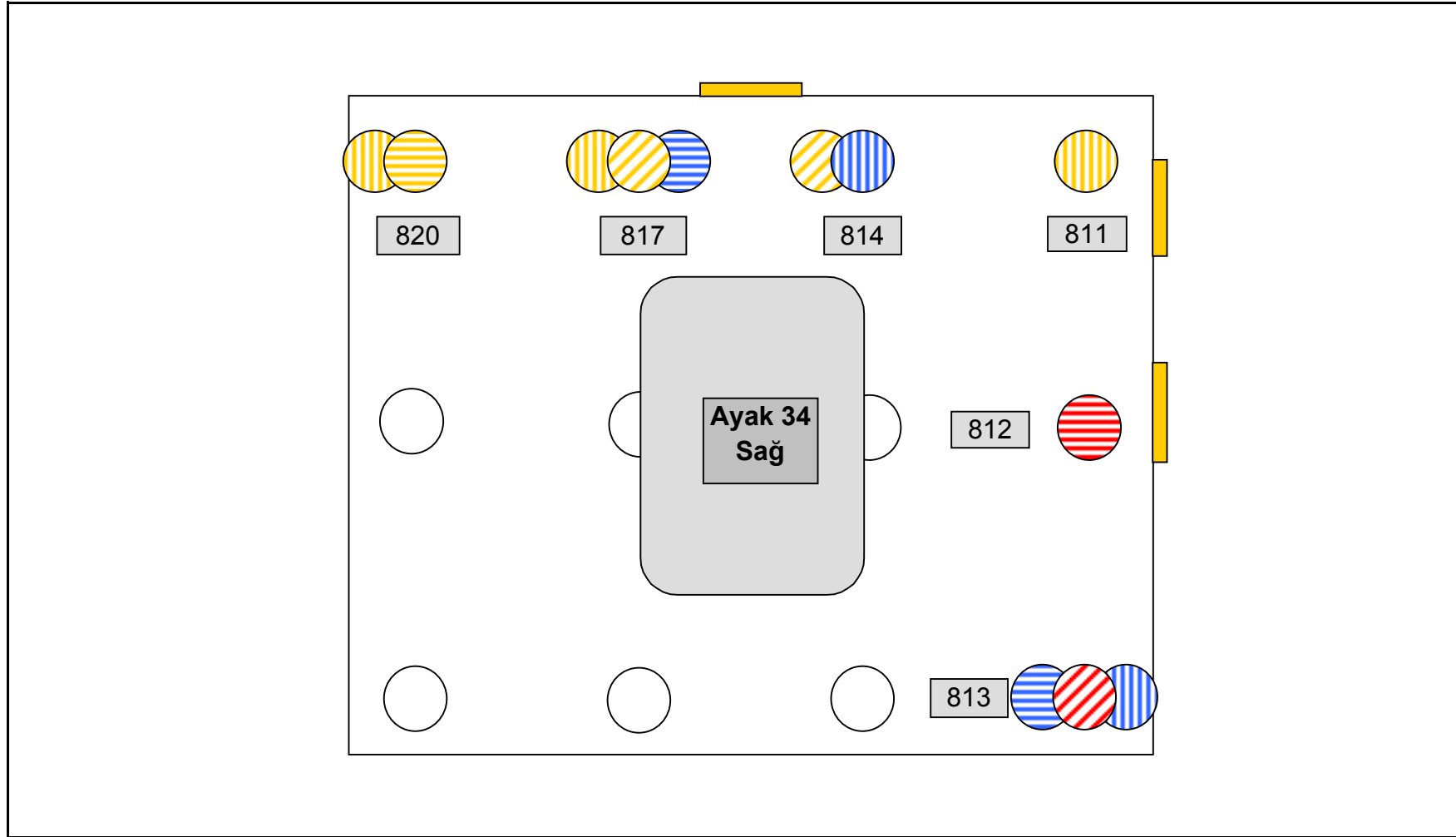
Şekil H.2 Görsel Kontrol Sonuçları - Ayak 26 Sağ



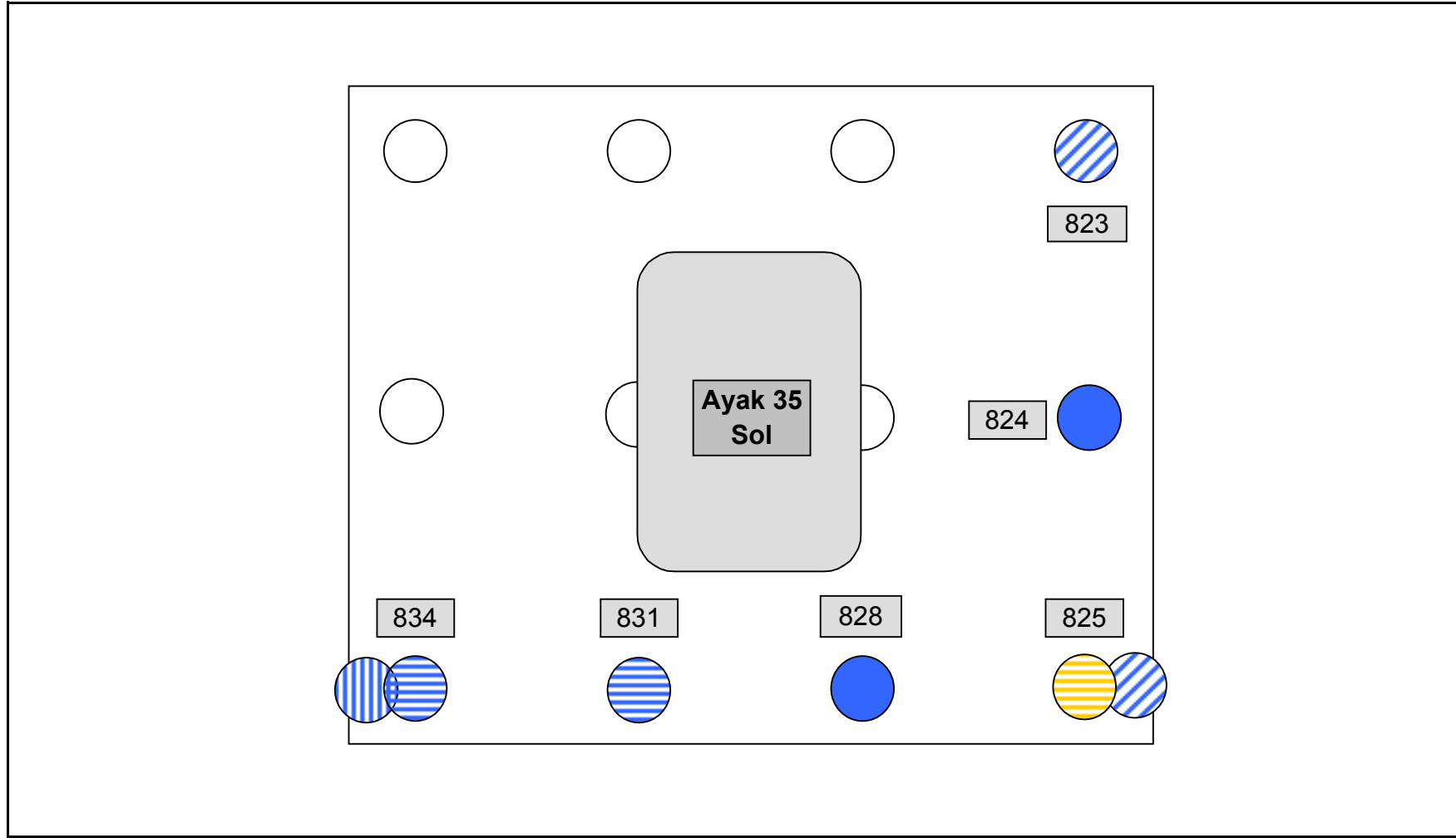
Şekil H.3 Görsel Kontrol Sonuçları - Ayak 27 Sol



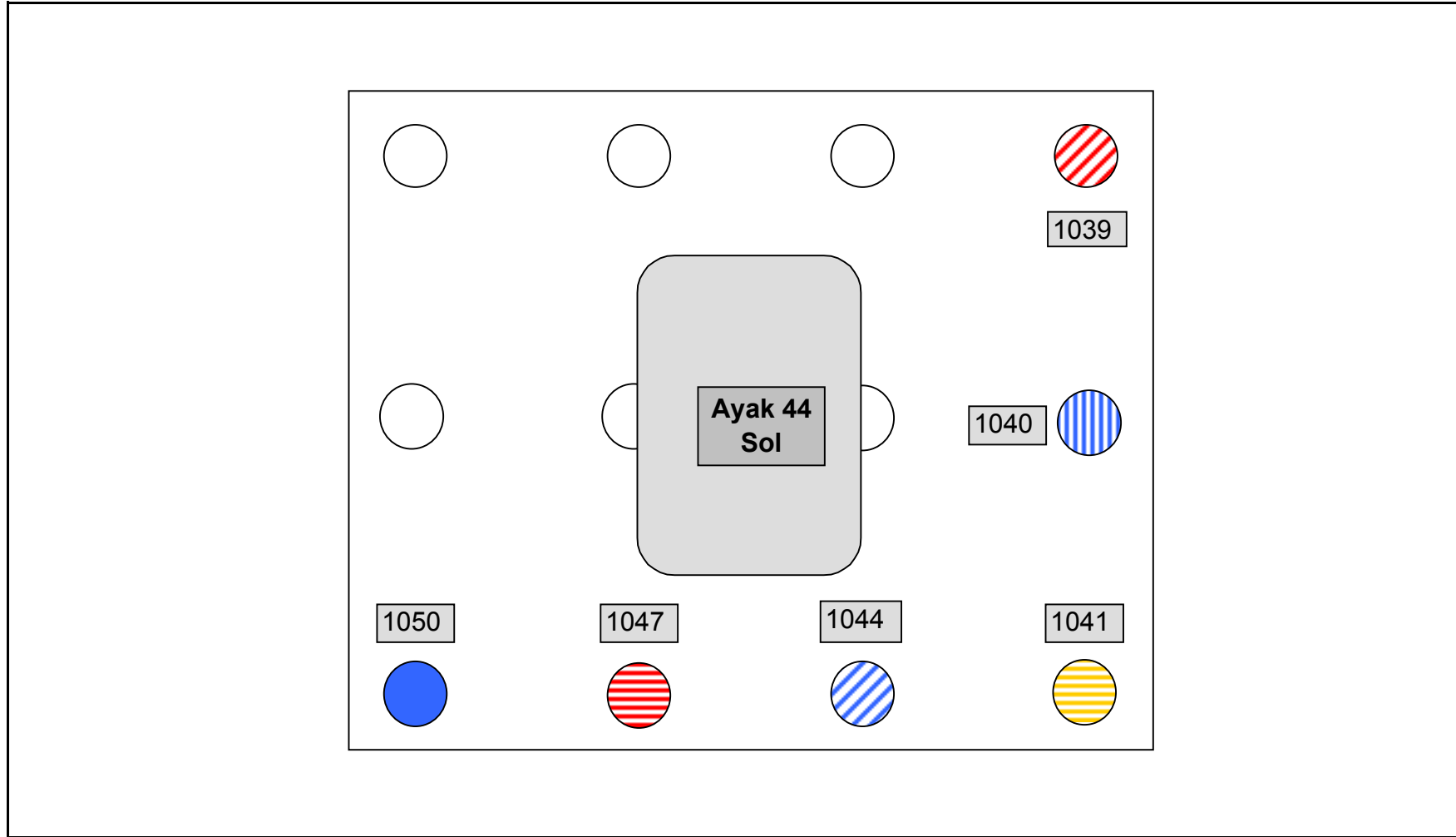
Şekil H.4 Görsel Kontrol Sonuçları - Ayak 34 Sağ



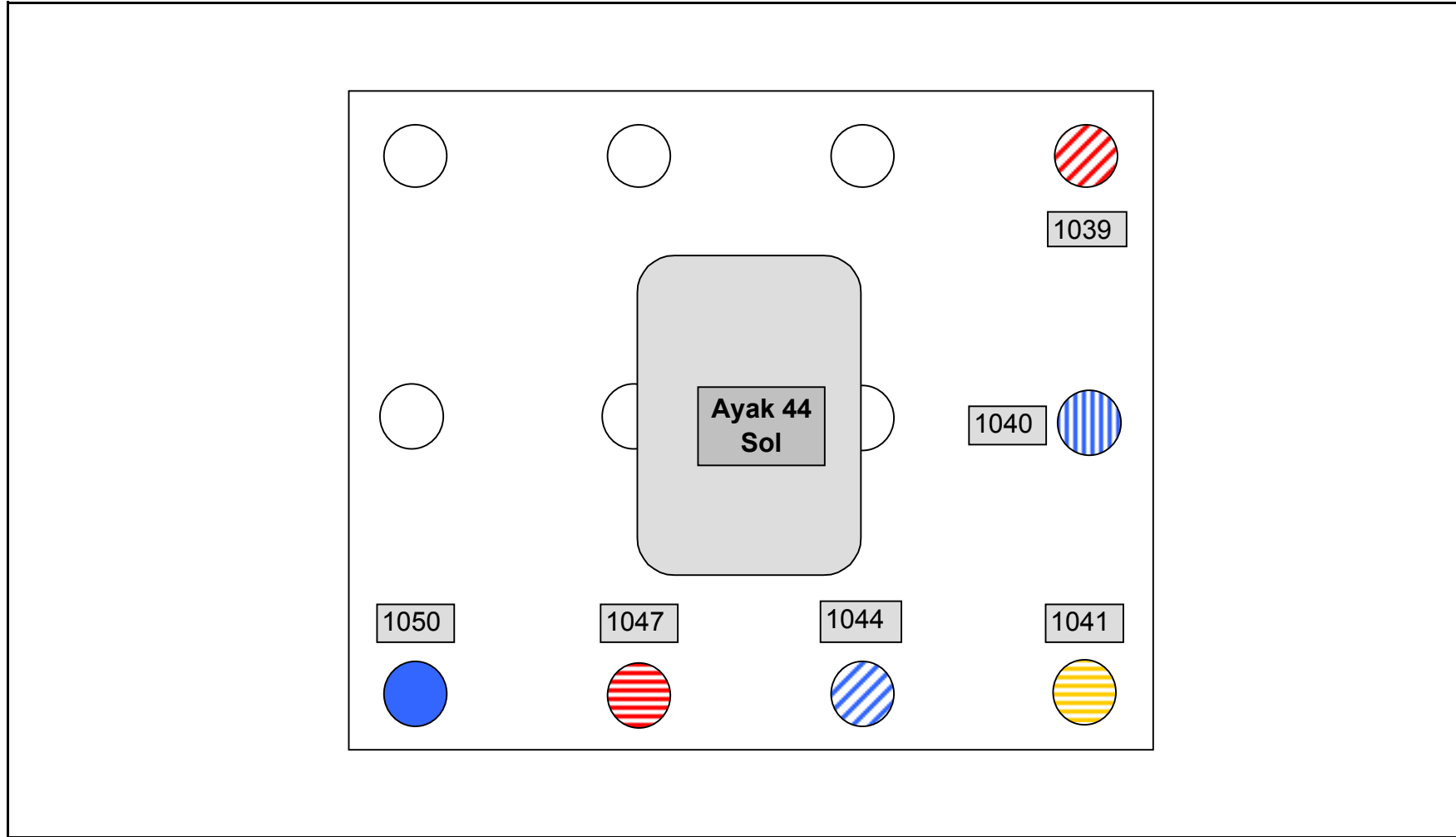
Şekil H.5 Görsel Kontrol Sonuçları - Ayak 35 Sol



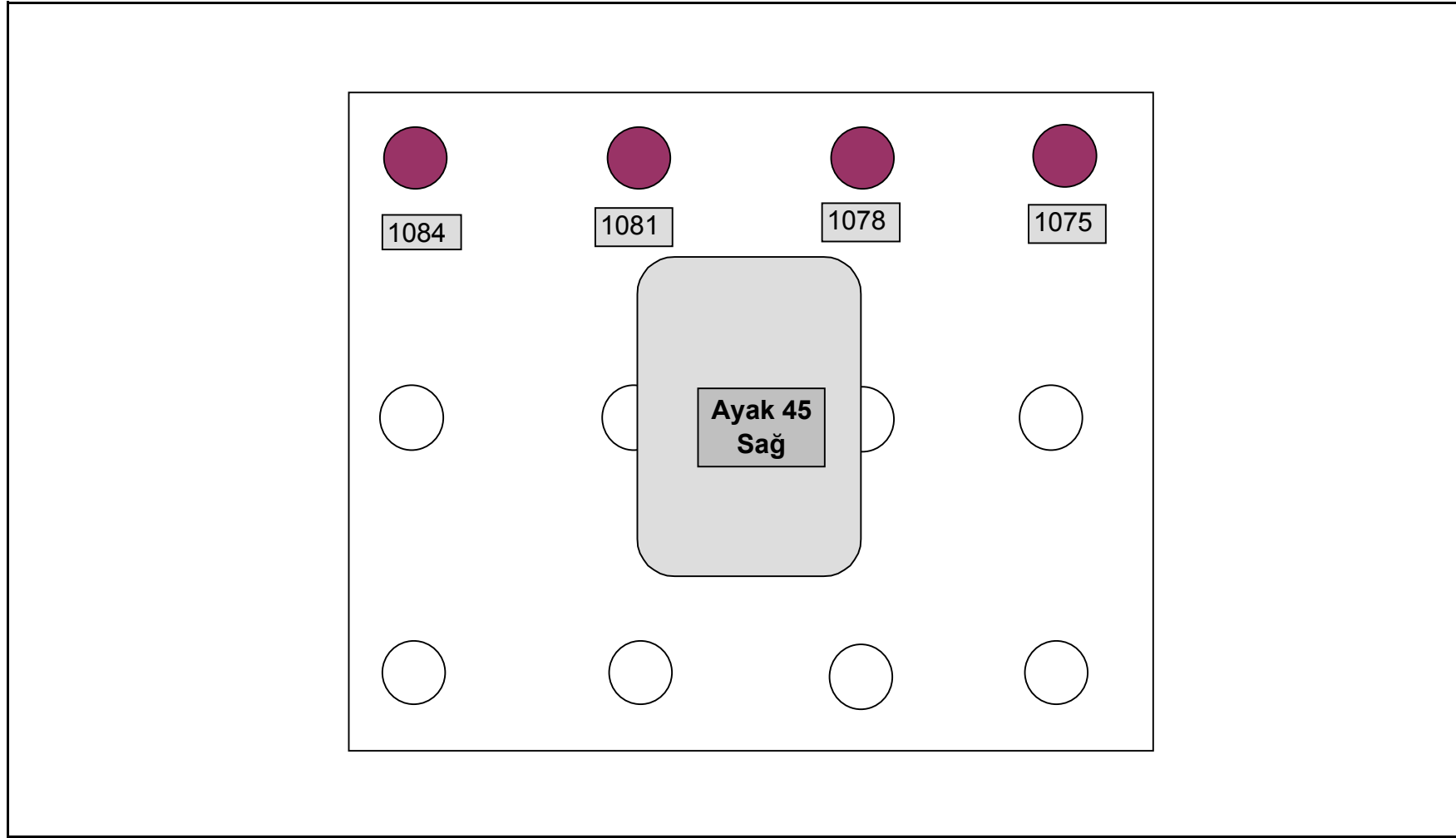
Şekil H.6 Görsel Kontrol Sonuçları - Ayak 44 Sol



Şekil H.6 Görsel Kontrol Sonuçları - Ayak 44 Sol



Şekil H.7 Görsel Kontrol Sonuçları - Ayak 45 Sağ





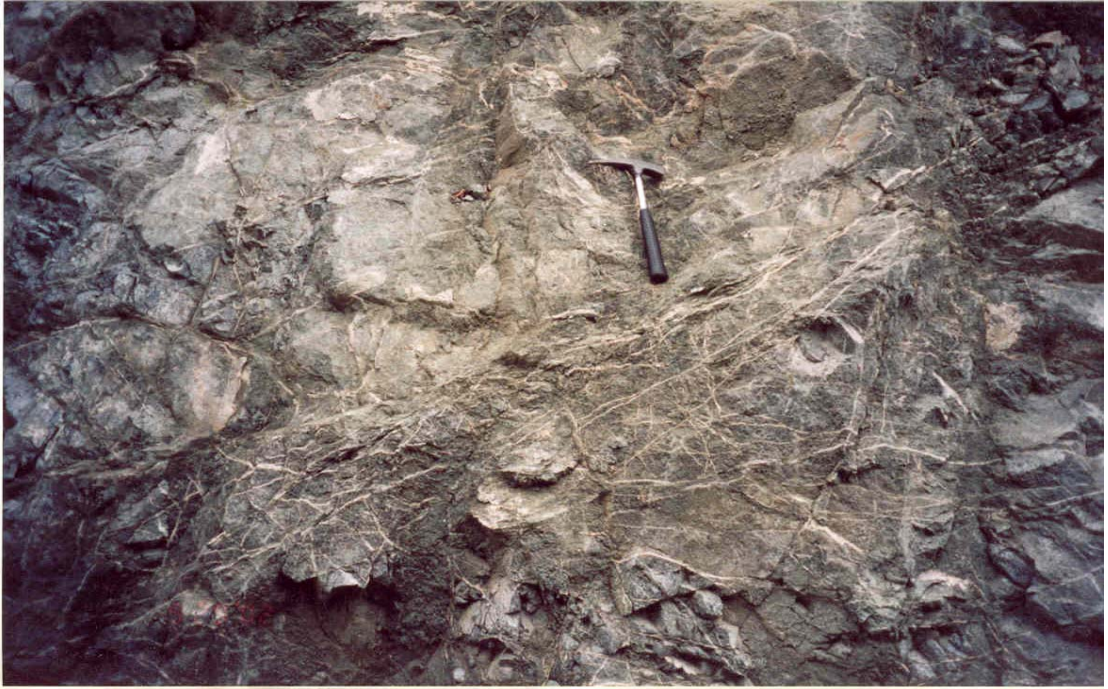
Şekil I.1 Elmalık graniti (km 7+350)



Şekil I.2 Alüvyal teras çökelleri (km 13+950)



Şekil I.3 Güncel alüvyon çökelleri (km 5+950)



Şekil I.4 Yedigöller formasyonu içinde gözlenen sistemsiz çatlaklar (km 13+600)



Şekil I.5 Asarsu vadisi güney yamaçta yeralan, tahkimat uygulanmış kayma hareketi (km 12+235)



Şekil I.6 Asarsu vadisi kuzey yamaçta gözlenen kayma ve akma hareketi (km 14+200)



Şekil I.7 Ayak 47 Sağ'da gözlenen düşey eksenindeki dönme hareketi (km 8+300)



Şekil I.8 Deprem sonrası vadi içinde gelişen kırık (en-echelon)

ÖZGEÇMİŞ

16.11.1976 Zonguldak doğumluyum. İlk öğrenimimi Zonguldak T.E.D. Koleji'nde, Orta ve lise öğrenimimi İstanbul Kadıköy Anadolu Lisesi'nde tamamladım. 1994 yılında girdiğim İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Fakültesi'nden 1998 yılında mezun oldum ve aynı yıl Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Mühendislik Jeolojisi Programı'nda yüksek lisans eğitimime başladım. 1998 yılında çalışmaya başladığım Trevi İnşaat ve Mühendislik A.Ş.'de halen çalışmaktayım.

Serkan AKSU
Ekim, 2002